

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta
Institut hornického inženýrství a bezpečnosti

RECYKLACE HLINÍKOVÝCH ŠPON
RECYCLING ALUMINUM SHAVINGS

diplomová práce

Autor:

Bc.Václav Riedl

Vedoucí diplomové práce:

doc.Ing.Vladimír Čáblík, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Václav Riedl**
Studijní program: N2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904T022 Zpracování a zneškodňování odpadů
Téma: **Recyklace hliníkových špon
Recycling aluminum shavings**
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Kvalifikační práce bude vypracována v souladu se směrnici HGF_SME_15_001 a osnovou:

1. Úvod a cíl práce
2. Popis současného stavu
3. Charakteristika vstupního materiálu
4. Popis technologie tavení špon
5. Experimentální část - test briketování znečištěných špon, test tavení, proces čištění a sušení špon
6. Ekonomická rozvaha – úspory v dopravě, úspory za hliník, úspory za řeznou emulzi
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Christopher J. Schmitz. *Handbook of Aluminium Recycling*. Vulkan-Verlag GmbH. 2007. 510 pages.
ISBN-10: 3802729366.


Hanusková L. Recyklace hliníkových třísek. *MM Průmyslové spektrum*. 9/2012. Strana 46.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Vladimír Čablík, Ph.D.**

Datum zadání: 30.10.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016


doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová
vedoucí institutu




prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

- Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠBTUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 15. 04. 2016

Václav Riedl



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval především svému vedoucímu práce doc. Ing. Vladimíru Čablíkovi, Ph.D., za odborné vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Dürr Systems Czech Republic a. s. za možnost být přítomen testu čištění hliníkových špon z naší společnosti a společnosti STARCAM s.r.o. za poskytnutí dat.

Summary

This thesis describes present status of aluminium metal shavings from heads machining utilisation for the automotive industry. Input material and its characteristics is described, which is the basis for the production of heads. Next part describes the technologies of aluminium metal shavings technology. That is both briquetting and centrifugation method with subsequent shavings drying in the set of furnace – submerged melting. The first method is more accessible in terms of price and its utilization ratio is around 95%. By the second method we achieve melting utilization percentage up to 98% and it is in terms of price more costly and more complicated. The metal shavings briquetting is carried out within the experimental part together with melting in furnaces test, metal shavings cleaning and drying by an external company. Savings, which will arise in course of the actual aluminium metal shavings recycling process (briquetting) and subsequent processing in melting furnaces, are described in the economic balance sheet.

Keywords: aluminium, aluminium metal shavings, briquetting

Anotace

Diplomová práce popisuje současný stav využití hliníkových špon z obrábění hlav pro automobilový průmysl. Je zde popisován vstupní materiál, který je základem pro výrobu hlav a jeho charakteristika. V další části jsou popisovány technologie recyklace hliníkových špon. A to jak briketováním, tak i metodou odstředování s následným sušením třísek v soupravě pecí – submerged melting. První metoda je cenově výhodnější a výtěžnost je okolo 95%. Druhou metodou docílíme výtěžku tavení až 98% a je celkově nákladnější a složitější. V experimentální části je provedeno briketování špon, zkouška tavení v pecích, čištění a sušení špon externí společností. V ekonomické rozvaze jsou popsány úspory, které vzniknou při vlastní recyklaci hliníkových špon (briketování) a následném zpracování v tavících pecích.

Klíčová slova: hliník, hliníkové špony, briketování

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Popis současného stavu	2
2.1 Popis současného stavu ve společnosti STARCAM s.r.o	2
2.1.1 Druh odpadu.....	3
2.1.2. Popis vzniku odpadu	3
2.1.3. Zatřídění odpadu pro účel přepravy	4
2.1.4. Doba platnosti posuzování	4
2.1.5. Podmínky kontroly vlastností odpadu.....	4
2.5.1. Způsob provádění kontroly	5
2.1.6. Hodnocení jednotlivých nebezpečných vlastností	5
2.1.6.1. Výbušnost.....	5
2.1.6.2. Oxidační schopnost	5
2.1.6.3. Hořlavost.....	5
2.1.6.4. Dráždivost	6
2.1.6.5. Škodlivost zdraví.....	6
2.1.6.6. Toxicita	6
2.1.6.7. Karcinogenita	7
2.1.6.8. Žíravost	7
2.1.6.9. Infekčnost.....	7
2.1.6.10. Teratogenita.....	8
2.1.6.11. Mutagenita.....	8
2.1.6.12. Schopnost uvolňovat toxické plyny ve styku.....	8
2.1.6.13. Senzibilizace	8
2.1.6.14. Ekotoxická	9
2.1.6.15. Schopnost uvolňovat nebezpečné vlastnosti do ŽP	10
3. Charakteristika vstupního materiálu	12
3.1. Označení slitin hliníku	14
3.2. Slévárenské Al slitiny – přehled	14
3.3. Vstupní materiál	18
3.4. Chemické složení	19
3.5. Mechanické a fyzikální vlastnosti.....	20
3.6. Typy pecí, zařízení k lití a jejich charakteristiky	22

4. Popis technologie tavení špon.....	29
4.1. Briketování.....	29
4.2 . Submerged melting	31
5. Experimentální část – test briketování znečištěných špon, test tavení, proces čištění a sušení špon	33
5.1. Test briketování znečištěných špon	33
5.1.1. Popis zařízení	33
5.1.2. Test briketování.....	35
5.2. Proces čištění a sušení špon	38
5.2.1. Test č. 1 - proces odmaštění špon	38
5.2.2. Test č. 2 - s druhým sušením.....	39
5.3. Test tavení	42
5.3.1. Popis zařízení	43
5.3.2 Test a vyhodnocení tavení briket	43
6. Ekonomická rozvaha - úspory v dopravě, úspory za hliník, úspory za řeznou emulzi	46
6.1. Úspory v dopravě – odvoz VZV	46
6.2. Úspory v dopravě – odvoz kontejnerů	47
6.3. Úspory za řeznou emulzi.....	48
6.4. Úspory za hliník	48
7. Závěr.....	51

Seznam použitých zkratk

České zkratky

EU	Evropská unie
ADR	Přeprava nebezpečných věcí
VZV	Vysokozdvihný vozík
TZL	Tuhé znečišťující látky

1. Úvod

STARCAM je společnost založena v roce 2006 a zabývá se výrobou špičkových hliníkových komponentů pro automobilový průmysl. Konkrétně se specializuje na výrobu hliníkových hlav motorů. Tím, že jsou tyto součásti vyrobeny z hliníku, nejen, že snižují hmotnost automobilů, ale také zvyšují jejich výkonnost v porovnání se železnými komponenty. V procesu výroby dochází nejprve k přípravě taveniny, která je v požadovaném složení v lící peci. K zajištění požadovaného tvaru a vlastností dochází s využitím kovových forem a pískových jader. Po procesu očištění od zbytků písků a hliníkových nálitků jsou tyto odlitky převáženy k následným operacím do nové obrobny. Zde dochází k třískovému obrábění hlav, tj. vrtání a frézování. Třísky mají blízkou zrnitost. Hliníkové špony jsou následně odváženy a recyklovány v externí společnosti.

Cílem mé diplomové práce je návrh, jak využít hliníkové špony, které vznikají na nové obrobne třískovým obráběním a možnosti recyklace tohoto odpadu. Tím by došlo ke snížení nákladů v dopravě, nákupu hliníku a řezné emulze.

2. Popis současného stavu

Recyklace hliníku je proces, při kterém je hliníkový odpad znovu použit pro novou výrobu. Již od prvního použití v průmyslovém odvětví, tj. od roku 1880, se zhruba 75% veškerého vyrobeného materiálu používá dodnes. Recyklací nedochází ke změně vlastností hliníku. Z tohoto důvodu je možno recyklovat tento materiál neustále. Recyklace hliníku obvykle přináší významné úspory nákladů na výrobu nového hliníku, i když náklady na sběr, třídění a recyklaci musí být a jsou brány v úvahu. Recyklovaný hliník se používá v leteckém i automobilovém průmyslu a také např. pro výrobu jízdních kol, lodí, počítačů a pro další produkty, které potřebují silný lehký materiál nebo materiál s vysokou tepelnou vodivostí.

Proces recyklace zahrnuje zjednodušeně znovu roztavení kovu, které je mnohem méně nákladné a energeticky náročné, než výroba nového hliníku prostřednictvím elektrolýzy z oxidu hlinitého (Al_2O_3). Hlavním zdrojem pro výrobu hliníku je ruda bauxit.

Recyklace hliníku vyžaduje o 95% méně energie a produkuje o 95% méně emisí skleníkových plynů (GHG), než výroba primárního hliníku. To je úspora emisí skleníkových plynů, která se rovná používání 900.000 automobilů na silnicích po dobu 12 měsíců. Recyklace 1 tuny hliníku zabraňuje asi 9 tun emisí CO_2 - pouhá 1 tuna CO_2 je ekvivalentní k jízdě téměř 4800km. Recyklace hliníku také snižuje využívání přírodních zdrojů a chemikálií (louch sodný, fluorid hlinitý a vápenatý), a zároveň snižuje potřebu těžby rudy bauxit.

2.1 Popis současného stavu ve společnosti STARCAM s.r.o

Hliníkové špony, které vznikají obráběním, jsou odváženy externí společností. Hliníkové špony jsou převáženy VZV v převozních kontejnerech o kapacitě okolo 150 kg. Odpad je po doplnění kontejneru na předepsanou hmotnost odvážen nákladními automobily.

Přepravní kontejnery jsou se záchytnou vanou, která slouží hlavně pro zachycení zbytkové emulze. Používají se kontejnery o kapacitě 8.500 – 10.000 kg, a to v závislosti na uspořádání špon v kontejneru.



Obrázek 1: Odvoz kontejneru s Al odpadem

Společnost STARCAM má zaveden systém EMS ve formě ISO 14001 a OHSAS 18001. Uvedený odpad je posuzován o nebezpečných vlastnostech dle podmínek § 15 zákona č.185/2001 Sb. o odpadech v platném znění a vyhlášky MŽP 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů ve znění pozdějších předpisů.

2.1.1 Druh odpadu

Druh odpadu č. 12 ODPADY Z TVÁŘENÍ A Z FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ POVRCHOVÉ ÚPRAVY KOVŮ A PLASTŮ

Kód odpadu: 12 01 03 Piliny a třísky neželezných kovů[1][4]

2.1.2. Popis vzniku odpadu

Tavenina o požadovaném složení z tavicí pece je dopravena do licích zařízení. Odlitek požadovaného tvaru a vlastností vzniká využitím kovových forem a pískových jader. Odlitek po vychlazení je zbaven písků a nálitků vzniklých při lití. Po očištění je

převezen do nové obrobny, kde se provedou požadované operace tj. vrtání a frézování. Z těchto operací vypadávají třísky se zbytky řezné emulze.

2.1.3. Zatřídění odpadu pro účel přepravy

Odpad není nebezpečnou věcí dle ADR, pokud nemá nebezpečnost ve smyslu vyhlášky č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů v platném znění a pokud z odpadu neunikají žádné složky.

2.1.4. Doba platnosti posuzování

Zákonem je doba platnosti omezena na maximálně 4 roky. Posouzení platí pro posuzovaný odpad dle technologie výroby. Při odběru se v době posuzování vyskytují třísky dle deklarovaného složení. V případě další úpravy (briketování) se bude toto posouzení aktualizovat.

Osvědčení: **185/2001 Sb. §83 odst. (2)** Osvědčení o vlastnostech odpadů vydané podle dosavadních právních předpisů se považuje za osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností odpadů podle tohoto zákona.

Přechodná ustanovení zavedena zákonem č. 223/2015 Sb. Čl. II

Osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností odpadu vydaná přede dnem nabytí účinnosti tohoto zákona podle § 9 odst. 1 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění účinném přede dnem nabytí účinnosti tohoto zákona, se považují za osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů a zůstávají v platnosti až do uplynutí doby platnosti, která je v nich stanovena. To neplatí, byly-li splněny podmínky pro okamžité pozbytí platnosti osvědčení o vyloučení nebezpečných vlastností odpadu uvedené v § 9 odst. 2 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění účinném ode dne nabytí účinnosti tohoto zákona. [4]

2.1.5. Podmínky kontroly vlastností odpadu

Četnost kontroly je s ohledem na neustálý vznik tohoto odpadu prováděna jednou za 6 měsíců a jednou za dva roky. Toto je primárně platné pro třísky. [1][4]

2.5.1. Způsob provádění kontroly

Odběr vzorků a analýza:

- jednou za 6 měsíců žíhání, uhlovodíky, chlór a TOL screening v sušině, NEL
- ve výluhu, není-li dle dalšího využití odpadu vyžadováno testování
- jednou za 24 měsíců ekotoxicita

2.1.6. Hodnocení jednotlivých nebezpečných vlastností

2.1.6.1. Výbušnost

Výbušnost je vlastnost, kterou mají odpady, jež mohou působením tepelných podnětů explodovat, viz nebezpečná vlastnost H1. Vzhledem k chemickému složení a technologii vzniku odpadu (Al kovové třísky) je vyloučena jakákoli cesta vedoucí k výbuchu - iniciace teplem nebo nárazem nebo chemická reakce za vývoje tepla u tohoto odpadu z hlediska pravděpodobného a možného nakládání za běžných podmínek. Nebyl zjištěn výskyt látek a směsí (koncentráty) ovlivňujících tuto nebezpečnou vlastnost, ani analýzou, ani rešeršním posouzením. Koncentráty emulzí, ani emulze samotné (ředěné), nejsou klasifikovány jako hořlavé či výbušné. Nejedná se o Al prach, ale kovové třísky.[1]

2.1.6.2. Oxidační schopnost

Oxidační schopnost je vlastnost odpadů, které jsou schopny uvolňovat kyslík a poskytovat jej jiným látkám, a tím vyvolat vysoce exotermní reakce po kontaktu nebo ve směsi s jinými látkami zejména hořlavými, viz H2.

Posuzovaný odpad, Al kovové třísky, s ohledem na technologii vzniku vylučuje nebezpečnou vlastnost odpadů, oxidační schopnost. Nebyl zjištěn výskyt látek a přípravků ovlivňujících tuto nebezpečnou vlastnost, a to ani analýzou, ani rešeršním průzkumem. [1]

2.1.6.3. Hořlavost

Hořlavost je vlastnost odpadů, které jsou kapalinami s bodem vzplanutí $\geq 21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $\leq 55^{\circ}\text{C}$, nebo kapalinami s bodem vzplanutí $\geq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, pokud jsou zahřáty na teplotu nebo nad teplotu jejich bodu vzplanutí, definice viz H3.

Vzhledem k chemickému složení a technologii vzniku odpadu (Al kovové třísky), je vyloučena jakákoli cesta vedoucí ke vznícení či hoření. Nebyl zjištěn výskyt látek a přípravků ovlivňujících tuto nebezpečnou vlastnost a to ani analýzou, ani rešeršním posouzením. Koncentráty emulzí ani emulze samotné (ředěné) nejsou klasifikovány jako hořlavé či výbušné. Nejedná se o Al prach, ale kovové třísky. [1]

2.1.6.4. Dráždivost

Tuto vlastnost mají odpadové materiály, které obsahují dráždivé látky a přípravky a nejsou žíravé, definice viz H4.

Posuzovaný odpad, Al třísky z obrábění nemá s ohledem na složení tuto nebezpečnou vlastnost. U posuzovaného odpadu se pH vodního výluhu pohybuje v neutrální oblasti. Naředěná emulze nemá nebezpečnou vlastnost dráždivost, i když dle požadavku vyhlášky č. 376/2001 Sb. by koncentráty emulzí (pokud by byly odpadem ve smyslu zákona) byly dráždivé. Po naředění však tato nebezpečná vlastnost u emulzí již není. [1]

2.1.6.5. Škodlivost zdraví

Tuto vlastnost mají ty materiály a odpady, které obsahují zdraví škodlivé látky a mohou při vstupu do organismu vyvolat lehké poškození zdraví, definice viz H5.

Posuzovaný odpad, tříska Al, byla hodnocena s ohledem na nebezpečnou vlastnost škodlivost zdraví v intenci předpokládaných vyhláškou. Třísky ani kondenzáty emulzí nejsou klasifikovány jako látky zdraví škodlivé. [1]

2.1.6.6. Toxicita

Jedná se o vlastnost, kterou mají tyto odpady, které obsahují toxické látky nebo přípravky, jejichž vstup do organismu může vyvolat těžké poškození zdraví nebo smrt, definice viz H6.

Z receptury vzniku se nepředpokládá, že by odpad obsahoval ve zvýšené úrovni těžké kovy. U posuzovaného odpadu, Al kovové třísky, s ohledem na technologii vzniku a analýzu složení, nepředpokládá nebezpečná vlastnost toxicita v intenci předpokládané vyhláškou. Al třísky nejsou klasifikovány ani jako toxické, ani jako koncentráty emulzí (natož naředěné emulze), také nejsou klasifikovány jako toxické. [1]

2.1.6.7. Karcinogenita

Karcinogenita je vlastnost, kterou mají odpady obsahující karcinogenní látky nebo přípravky, jejichž vstup do organismu může vyvolat rakovinu nebo zvýšit četnost výskytu jejího výskytu, definice viz H7.

U posuzovaného odpadu, Al kovové třísky se s ohledem na technologii vzniku a provedené rozborů nepředpokládá nebezpečná vlastnost karcinogenita v intenci požadovaných vyhláškou. Receptura neobsahuje látky či směsi klasifikované jako karcinogenní. [1]

2.1.6.8. Žíravost

Tuto vlastnost mají materiály odpady, které obsahují žíravé látky a přípravky, kdy při kontaktu epitelem dochází k jeho poškození, definice viz H8.

Pro posuzovaný odpad, Al třísku s emulzí, se s ohledem na technologii vzniku nepředpokládá nebezpečná vlastnost žíravost odpadu. V oblasti neutrální je pH vodného výluhu. Po výskytu složek receptury pod limitované množství nebude emulze po naředění přiřazena dráždivost ani žíravost ve smyslu vyhlášky. Naředěná emulze nemá nebezpečnou vlastnost žíravost, i když dle požadavku vyhlášky č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů by koncentráty emulzí (pokud by byly odpadem ve smyslu zákona) byly u SINTALY i žíravé. Po naředění však tato nebezpečná vlastnost u emulzí již není, ani jako dráždivost. [1]

2.1.6.9. Infekčnost

Odpad je ve vztahu k člověku nebezpečným z hlediska přenosu závažného infekčního onemocnění, jestliže obsahuje patogenní mikroorganismy s dostatečnou virulencí v koncentraci nebo v množství, kdy by expozicí mohlo vzniknout onemocnění člověka nebo zvířete, viz definice H9.

Nebezpečnou vlastnost infekčnost - je povolána vyloučit pouze pověřená osoba. Každopádně do receptury přípravy či nakládání nejsou přidávány žádné materiály, odpady či látky, jenž by měly potencionální nebezpečnou vlastnost infekčnost. [1]

2.1.6.10. Teratogenita

Vlastnost teratogenity mají odpady, které obsahují teratogenní látky nebo přípravky, jejichž vstup do organismu může zvýšit četnost výskytu nedědičných vrozených malformací nebo funkčních poškození, definice viz H10.

Pro posuzovaný odpad (Al třísky) se s ohledem na technologii vzniku a provedené rozborů nepředpokládá nebezpečná vlastnost teratogenita za splnění uvedených podmínek. Koncentráty ani Al kov neobsahuje, či není takto klasifikován. [1]

2.1.6.11. Mutagenita

Jedná se o vlastnost mající odpady, které obsahují mutagenní látky nebo přípravky, jejichž vstup do organismu může zvýšit četnost výskytu dědičných genetických vad, definice viz H11. Mutagenními jsou odpady, které obsahují nadlimitní obsahy látek s R větami 40-46, případně obsahující nadlimitní koncentrace mutagenů.

Pro posuzovaný odpad (Al třísky), se s ohledem na technologii vzniku a provedené rozborů nepředpokládá nebezpečná vlastnost mutagenita za splnění uvedených podmínek. Koncentráty ani Al kov neobsahuje, či není takto klasifikován. [1]

2.1.6.12. Schopnost uvolňovat toxické plyny ve styku

Tuto vlastnost mají odpady, které uvolňují ve styku s vodou nebo s kyselinami nebo se vzduchem více než 1 l.hod⁻¹.kg vysoce toxického nebo toxického plynu. Posuzovaný odpad, anorganické Al třísky, s ohledem na technologii vzniku nemá nebezpečnou vlastnost uvolňování toxických plynů. Při aplikaci vody nedochází k žádným reakcím. Není stechiometrický předpoklad vzniku toxických sloučenin, podíl fosforu ve slitině je malý. [1]

2.1.6.13. Senzibilizace

Vlastnost senzibilizace mají odpady, které obsahují senzibilizující látky nebo přípravky, jejichž působení je známo ve smyslu působení senzibilizujících účinků na kůži nebo na dýchací orgány, definice viz H13 (není ve vyhlášce č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů). Senzibilizujícími jsou odpady, jenž obsahují nadlimitní obsahy látek s R větami 42-43. R 42/43 a R43 má obecný limit 1 % výskytu v odpadu. Emulze ani Al třísky (tedy ani odpad) takto klasifikované látky vůbec neobsahují. [1]

2.1.6.14. Ekotoxicita

Ekotoxicita je vlastnost, kterou mají odpady, které představují akutní či pozdní nebezpečí v důsledku nepříznivého zatížení životního prostředí biologickou akumulací nebo toxickými účinky na biotické systémy. Jedná se o odpady, které vykazují níže uvedené hodnoty alespoň pro jeden z testovacích organismů při určené době působení testované látky na testovací organismus:

- ryba *Poecilia reticulata* nebo *Brachydanio rerio* (doba působení 96 hodin)
- vodní členovec *Daphnia magna* (doba působení 48 hodin)
- zelená řasa *Raphidocelis subcapitata* (*Selenastrum capricornutum*), nebo *Scenedesmus subspicatus* (doba působení 72 hodin)
- semeno rostliny *Sinapis alba* L. (doba působení 72 hodin)

Odpad je ekotoxický v případě odpadů ve vodě rozpustných, pokud je hodnota EC (IC) $\leq 10 \text{ mg.l}^{-1}$, nebo v případě odpadů ve vodě nerozpustných, jejichž vodný výluh vykazuje hodnotu LC(EC, IC) $\leq 10 \text{ ml l}^{-1}$, nebo jehož toxická jednotka TU je ≥ 10 . Primárně byl testován 100 % výluh tak, jak požaduje tabulka č. 1. Pozitivita vůči tabulce č. 1 byla dle očekávání zjištěna u všech testovaných organismů. Nejcitlivějším organismem byla zjištěna daphnia, které v 10 % (100 ml l⁻¹) naředění měla úhyn nad 50 %. Při stonásobném ředění (10 ml/l) pro stanovení TU nad 10 nebyla zjištěna žádná reakce, natož blížíci se k 50 % limitu inhibice vycházejícího z limitace nebezpečné vlastnosti H14 vyhláškou č. 376/2001 Sb. Při porovnání výsledků ekotoxicity byl zjištěn soulad s požadavkem definice nebezpečné vlastnosti H14. [1]

Tabulka 1: Ekotoxicita dle vyhlášky č.294/2005 Sb. [1]

Testovaný organismus	Výsledek	Požadavek nebezpečné vlastnosti	Požadavek tabulky č. 1
Poecilia reticulata	Negativní při 10 násobném ředění	negativní	Pozitivní
Daphnia magna	Negativní při 100 násobném ředění	negativní TU pod 10	Pozitivní
Řasa Scenedesmus subspicatus	Při 10 násobném ředění negativní, jen 18,77% inhibice růstu	negativní	Pozitivní
Sinapis alba L.	Při 10 násobném ředění negativní, jen 23,1% inhibice růstu	negativní	Pozitivní

2.1.6.15. Schopnost uvolňovat nebezpečné vlastnosti do ŽP

Tuto vlastnost mají odpady, které mohou jakýmkoliv způsobem uvolňovat nebo vést ke vzniku škodlivých látek, které negativně působí na životní prostředí a zdraví lidí, viz odstavec a) a b) vyhlášky 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů. Primárně byla posouzena vyluhovatelnost ve vztahu k tabulce č. 6.1 vyhlášky č. 376/2001 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů.

Posuzovaný odpad, anorganická jádra, s ohledem na technologii vzniku nemají nebezpečnou vlastnost - schopnost uvolňovat nebezpečné látky při jejich odstranění nebo po něm. Předpokládá se, že odpad bude předán k využití oprávněné osobě. Oprávněná osoba METAL TRADE COMAX a.s. dokládá, že podíl emulzí (8 %) a 0,4 % podíl ropných látek v odpadu není pro její technologii omezující. Omezením je případně řazení odpadu do kategorie N.

Odpad (hliníkové třísky) nemá žádnou z uvedených nebezpečných vlastností dle vyhlášky MŽP 376/01 Sb. o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů ve smyslu §6 zákona č.185/2001 Sb. o odpadech v platném znění. V tabulce č.2 je uvedeno vyhodnocení výše uvedených vlastností. [1]

Tabulka 2: Vyhodnocení nebezpečných vlastností uvedeného materiálu [1]

Nebezpečné vlastnosti	hodnocení nebezpečných vlastností
název	
H1 Výbušnost	vylučuje
H2 Oxidační schopnosti	vylučuje
H3 Hořlavost	vylučuje
H4 Dráždivost	vylučuje při splnění def.podmínek
H5 Škodlivost zdraví	vylučuje
H6 Toxicita	vylučuje
H7 Karcinogenita	vylučuje při splnění def.podmínek
H8 Žíravost	vylučuje při splnění def.podmínek
H9 Infekčnost	vylučuje
H10 Teratogenita	vylučuje při splnění def.podmínek
H11 Mutagenita	vylučuje
H12 Schopnost uvolňovat při styku se vzduchem, nebo vodou jedovaté plyny	vylučuje
H13 Senzibilizace	vylučuje
H14 Ekotoxická	vylučuje
H15 Schopnost uvolňovat nebez.látky do živ.prostředí při, nebo po jejich odstranění	vylučuje

3. Charakteristika vstupního materiálu

Hliník má největší zastoupení mezi kovovými prvky. Tvoří celkem 8% zemské kůry. Jeho zastoupení se v kovové formě v přírodě nenachází. Vždy jsou to kombinace sloučenin. Hliník se nachází v povrchové i spodní vodě. Skoro většina vodáren používá hliníkový sulfát (kamenec) pro úpravu vody jako flotační činitel. Je to nejefektivnější flotační činitel, relativně bezpečný pro manipulaci, cenově dostupný a pro nízké znečištění představuje malé riziko toxických chemikálií. Pro maximální obsah hliníku v pitné vodě bylo stanoveno množství 0,2mg na 1 litr vody. Při běžném používání nepředstavuje žádné riziko pro lidské zdraví. [2]

Hliník je nacházen v přírodě přibližně v 250 různých minerálech. Mezi nejdůležitější patří korund, diaspor, boehmit, spinel, gibbsit, kyanit, andaluzit, silimanit, kaolinit, alunit a nefelín. Co se ekonomiky týče, nejvýznamnější využitelnou rudou pro výrobu hliníku je bauxit. Bauxit není specifický minerál, ale hornina, která se skládá převážně z hydratovaných oxidů hliníku. Hliníku je jako hornina složená z hydroxidů hliníku především $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (diaspor, boehmit). Ze 4 až 6 tun bauxitu se získá přibližně 1 tuna hliníku. Nejrozšířenější těžba bauxitu je v Austrálii, Brazílii, Číně na Guinei a Jamajce. V současné době našly hliník a jeho slitiny pro své vlastnosti uplatnění v mnoha oblastech lidské činnosti. Můžeme říci, že není oblasti, kde by hliník a jeho slitiny nenašly uplatnění.

Hlavní oblasti použití hliníku:

- v dopravě
- ve stavebnictví
- ve strojírenství
- v energetice a elektrotechnickém průmyslu
- v potravinářském průmyslu
- v chemickém průmyslu (potrubí a výměníky)
- pro rekreační průmysl a sport
- také v jiných oblastech, např. klenotnictví



Obrázek 2: Bauxit [2]

Výroba hliníku je velkou ekologickou zátěží, je spotřebováno příliš mnoho energie, na 1kg Al asi 20 kWh. Je uvedeno, že je to až 3x více než při výrobě plastů a až 25x více než při výrobě skla. Spotřeba vody je mnohem větší než u dvou výše uvedených komodit. Současně se vyprodukuje velké množství toxického odpadu, což činí kolem 0,5 tuny odpadu na jednu tunu hliníku. Při výrobě vznikají emise fluoru, které způsobují dýchací potíže a alergie.

Recyklací hliníku se významně šetří energie a primární suroviny - (úspory mohou činit až 95 %). Výroba hliníku recyklací je mnohem méně náročná na spotřebu energie a to až 20x oproti jeho získávání z přírodní rudy. Hliník je na skládkách téměř nerozložitelný. Při reakci s atmosférickým kyslíkem se tvoří povrchová vrstva, která zabrání další reakci. [2]

3.1. Označení slitin hliníku

Označení odlitků je stanoveno normou ČSN EN 1706 Hliník a slitiny hliníku.

- řada 1000 Al minimálně 99% a více
- řada 2000 slitina AlCu
- řada 3000 slitina AlMn
- řada 4000 slitina AlSi
- řada 5000 slitina AlMg
- řada 6000 slitina AlMgSi
- řada 7000 slitina AlZn
- řada 8000 slitina Al s různými prvky

3.2. Slévárenské Al slitiny – přehled

Slitiny hliníku využitelné ve slévárenském průmyslu mají vůči slitinám jiných kovů řadu výhod. Tyto můžeme formulovat:

- slévatelnost, s použitím příslušného eutektika se výrazně zlepšují a to dle chemického složení
- nižší teplota tavení
- krátký interval krystalizace
- obsah vodíku můžeme minimalizovat vhodnými technologickými podmínkami (je to jediný rozpustný plyn v hliníku)
- chemická stabilita (odolnost vůči korozi)
- povrchové vlastnosti Al
- nízká náchylnost k tvorbě trhlin za tepla

Vhodnou volbu slitiny pro odlévání do požadovaných tvarů a rozměrů ovlivňuje těchto pět faktorů:

- slévárenské vlastnosti: slévatelnost, odolnost vůči vzniku trhlin za tepla, malý interval krystalizace, dobré vlastnosti pro tlakové lití. Musíme uvést, že slévatelnost ovlivňují především teplotní intervaly krystalizace, viskozity a povrchové napětí taveniny. Odolnost ohledně vzniku trhlin za tepla je všeobecně tím nižší, čím má slitina delší interval krystalizace a zároveň nižší pevnostní vlastnosti za vyšších teplot.

- Mechanické vlastnosti, které požadujeme: pevnost a plastičnost, tvrdost, pevnostní vlastnosti, u nichž je můžeme zvýšit.
- Chemické vlastnosti: povrchové úpravy – eloxování, odolnost vůči korozi, ta je výrazně negativně ovlivňována přítomností Cu
- Vlastnosti odlitků: stabilita – teplotní a rozměrová, nepropustnost kapalin v odlitcích působením tlaku
- Ekonomické faktory: tavení, lití, tepelné zpracování, mechanické obrábění a svařitelnost

Společným rysem slévárenských slitin hliníku je celkově vyšší obsah legujících prvků oproti slitinám pro sváření. Ze strukturálního hlediska jde o nestejnorodou slitinu s přítomností eutektika.

Podle ASM (ASM International–The Materials Information Society) rozdělujeme slévárenské slitiny hliníku na základě obsahu legujícího prvku nebo legujících prvků, a to do šesti základních typů:

Slitiny Al – Cu

Obsah Cu bývá obvykle v rozmezí 4 – 5 %. Při tepelném zpracování můžeme zvýšit jejich pevnostní vlastnost oproti litému stavu. Ve výrobě jsou také slitiny s obsahem 9 – 11 % Cu, tyto se vyznačují dobrými pevnostními vlastnostmi za vyšších teplot a také odolností oproti otěru. Velmi dobré pevnostní vlastnosti lze docílit přidáním Ni a Mg a to za vyšších teplot. Velkou nevýhodou těchto slitin je horší slévateľnost a nízká korozní odolnost. V českých normách jsou tyto slitiny: ČSNEN 1706 i slitina AC – AlCu_4MgTi (4.2 – 5.0 % Cu, 0.15 – 0.35 % Mg, 0.15 – 0.35 % Ti) a ČSN 424315, slitina $\text{AlCu}_4\text{Ni}_2\text{Mg}_2$ (3.75 – 4.5 % Cu, 1.75 – 2.25 % Ni, 1.25 – 1.75 % Mg).

Slitiny Al – Cu – Si

Tyto slitiny jsou mnohem více používané než předchozí typy slitin. Legováním Si se zlepšily slévárenské vlastnosti. U tohoto typu slitin je buď v převaze Cu nebo Si. Slitiny obsahující Cu nad 3 % jsou tepelně zpracovatelné. Tepelně se povětšinou zpracují jen slitiny, u kterých je legujícím prvkem také Mg. Slitiny, které mají vysoký obsah Si (nad 10 %), se aplikují tam, kde je požadován nízký koeficient teplotní roztažnosti. Vysokou odolnost oproti otěru vykazují slitiny, kde Si dosahuje až 22 % obsahu. ČSN jsou tyto slitiny:

ČSN 42 4339 - slitina $\text{AlSi}_8\text{Cu}_2\text{Mn}$ (7.5 – 9.5 % Si, 2 – 3 % Cu, 0.3 – 0.5 % Mn)

ČSN EN 1706 - slitina AC- AlSi_6Cu_4 (5.0 – 7.0 % Si, 3.0– 5.0 % Cu)

ČSN 42 4386 - slitina $\text{AlSi}_{20}\text{Cu}_2\text{NiMgMn}$ (19.0 – 22.0 % Si, 1.5 – 2.0 % Cu, 0.5 – 1.0 % Ni, 0.8 – 1.2 % Mg, 0.1 – 0.4 % Mn).

Slitiny Al – Si

Tento typ slitin je aplikován při požadavku na dobrou slévateľnost a odolnost oproti korozi. Obsah Si je u těchto slitin většinou mezi 5 až 13 %. Dle obsahu Si můžeme rozdělit tyto slitiny na podeutektické (obsah méně než 12 % Si), eutektické (obsah okolo 12 % Si) a nadeutektické (obsah nad 12 % Si). Při nepřítomnosti legujícího prvku Mg a Cu je možnost tepelného zpracování těchto slitin. Dle ČSN je tento typ slitiny ČSN 42 4330 - slitina $\text{AlSi}_{12}\text{Mn}$ (11.00 – 13.00 % Si, 0.1 – 0.4 % Mn).

Slitiny Al – Mg

Tyto slitiny mají velmi dobrou odolnost proti korozi, a to především v mořské vodě. Vysokou odolnost proti korozi vykazují slitiny, které jsou vyrobené z vysokočistých surovin. Jsou dobře svařovatelné a mají také velmi dobré vlastnosti pro mechanickou obrobiteľnost. Pro tyto odlitky je možno použít eloxování. U těchto slitin je velkou nevýhodou špatná slévateľnost a značná náchylnost hořčíku k oxidaci při procesu tavení. Zástupcem těchto slitin u nás jsou například ČSN 42 4515 - slitina AlMg_5SiMn (4.40 – 5.50 % Mg, 0.60 – 1.50 % Si, 0.25 – 0.6 % Mn) a ČSN 42 4519 - slitina $\text{AlMg}_{10}\text{SiCa}$ (7.00 – 10.00 % Mg, 0.01 – 2.0 Si, 0.01 – 0.15 % Ca)

Slitiny Al – Zn – Mg

Typickou vlastností těchto slitin jsou dobré pevnostní vlastnosti, a to již v litém stavu, velmi dobrá odolnost vůči korozi (ne za napětí). Při tepelném zpracování není nutné drastické ochlazování z kalící teploty, (při porovnání se slitinami Al – Cu). Maximálních pevnostních vlastností můžeme dosáhnout po 20 až 30 dnech přirozeným stárnutím. Slévateľnost tohoto typu slitin je velmi špatná. Mají také velkou náchylnost k vytváření trhlin za tepla. Zástupcem je v ČSN EN 1706, slitina EN AC AlZn_5Mg (4.50 – 6.00 % Zn, 0.40 – 0.70 % Mg).

Slitiny Al – Sn

Tyto slitiny mají obsah cca 6 % Sn a s malým množstvím Cu a Ni (jejichž cílem je zvýšení pevnostních vlastností) a jsou speciálně určeny pro výrobu kluzných ložisek. Hlavním problémem, a to z hlediska slévárenského, je velký interval krystalizace a také možnost segregace Sn. V ČSN nemáme k dispozici zástupce slitin tohoto typu. V amerických normách je možno najít slitinu s označením AA850.0 – 6.5Sn-1Cu-1Ni.

V množství slévárenských výrobků jsou hlavními představiteli odlitky vyrobené tlakovým litím. Tyto slitiny mají jiné uspořádání a jsou zařazeny do pěti skupin podle charakteristických vlastností odlitků.

Slitiny Al-Cu-Si

V českých normách je hlavním představitelem ČSN 42 4339 - slitina Al-Si₈Cu₂Mn (7.5 – 9.5 % Si, 2.0 – 3.0 % Cu, 0.3 – 0.5 % Mn). Tyto slitiny jsou nejvíce používané pro tlakové lití. Jsou označovány jako slitiny - pro všechny účely. Převládá u nich velmi dobrá slévatelnost a dobré mechanické vlastnosti, ale také mají nízkou odolnost vůči korozi.

Slitiny Al-Si-Mg

V českých normách je hlavním představitelem ČSN 42 4331 - slitině Al-Si₁₀MgMn (9.0 – 10.5 % Si, 0.25 – 0.45 % Mg). O těchto slitinách můžeme také říci, že mají velkou univerzálnost. Typická je pro ně dobrá slévatelnost a odolnost vůči korozi. Jejich nevýhodou je zhoršená mechanická obrobiteľnosť a jejich mechanické vlastnosti.

Slitiny Al-Si-Cu-Mg

Představitelem je dle ČSN 42 4386 slitina AlSi₂₀Cu₂NiMgMn. Tato slitina má vynikající oteruvzdornost, nízkou teplotní roztažnosť, vysokou tepelnou vodivost, dobré mechanické vlastnosti za zvýšených teplot a velmi dobrou slévatelnost. Mimo těchto uvedených kladných vlastností, však má nízkou odolnosť vůči korozi, malé plastické vlastnosti a také špatnou mechanickou obrobiteľnosť. Hlavním použitím těchto slitin je náhrada za sivé litiny a také pro odlitky, u kterých je žádána vysoká oteruvzdornost.

Slitiny Al-Si

Materiálem je dle ČSN EN 1706, slitina EN AC- $\text{AlSi}_5\text{Cu}_1\text{Mg}$ (4.5 – 5.5 % Si, 1.0 – 1.5 % Cu, 0.35 – 0.65 % Mg a také ČSN 42 4330 (11.00 – 13.00 % Si, 0.1 – 0.4 % Mn).

Tyto materiály vynikají slévateľností, velmi dobrou odolností oproti korozi, ale také špatnou mechanickou obrobiteľností. Jejich hlavním použitím jsou odlitky větších rozměrů a tenkostěnné odlitky.

Slitiny Al-Mg

Materiálem je dle ČSN EN 1706, slitina EN AC – AlMg_5 (4.5 – 6.5 % Mg). Hlavní použití této slitiny je, tam kde se žádá vysoká odolnost vůči korozi. Charakteristickými vlastnostmi jsou vysoké pevnostní vlastnosti, vysoká tažnost, výborná mechanická obrobiteľnost, dobré lomové hodnoty a nízká specifická hustota. Nevýhodou jsou jejich slévářenské vlastnosti. [2]

3.3. Vstupní materiál

Tato technická specifikace dodávky je platná pro nové výrobky od roku 2012 a charakterizuje mikrostrukturu, chemické, mechanické a fyzikální vlastnosti materiálů pro tepelně ošetřené hlavy zážehových a vznětových válců hlav z tepelně zpracovaných slitin hliníkových odlitků. Různé verze produktu charakterizují hlavní oblasti působnosti. Kromě toho tato specifikace dodávky upravuje testy, které mají být splněny, a jejich schválení od vývoje až po výrobu. [15]

Tabulka 3: Přehled produktů

Verze produktu	Materiál	Použití
4923.10	AC-Al $\text{Si}_{10}\text{Mg}(\text{Cu})\text{TiSr}$ K T73	Hlavy válců pro benzinové motory
4923.20	AC-Al $\text{Si}_{10}\text{Mg}(\text{Cu})\text{ZrSr}$ K T73	Hlavy válců pro zážehové / vznětové motory
4923.30	AC-Al $\text{Si}_7\text{Mg}_{0,25}\text{TiSr}$ K T73	Hlavy válců pro dieselové motory
4923.40	AC-Al $\text{Si}_7\text{Mg}_{0,25}\text{ZrSr}$ K T73	Hlavy válců pro zážehové / vznětové motory

3.4. Chemické složení

Tabulka č. 4 ukazuje požadované chemické složení hlav válců jednotlivých verzí produktů v procentech hmotnosti. V tomto procesu je prováděna kontrola tří jiskrovým spektrometrem na odlitém vzorku před samotným nalitím do prostoru odlévací pece. Průměrná hodnota jednotlivých legujících prvků musí být v souladu se specifikací tabulky č. 4. Během těchto měření se může pouze jeden prvek odchýlit od daných specifikací. Před začátkem měření musí dojít ke kalibraci spectrometru. Každá přesnost měření musí být ověřena použitím vhodných kalibračních kusů. [15]

Tabulka 4: Specifikace chemického složení jednotlivých produktů [15]

	AC-Al Si10Mg(Cu)TiSr K T73	AC-Al Si10Mg(Cu)ZrSr K T73	AC-Al Si7Mg0,25TiSr K T73	AC-Al Si7Mg0,25ZrSr K T73
Si	9,00 – 11,00	9,00 - 11,00	6,50 - 7,50	6,50 - 7,50
Fe	max. 0,60	max. 0,60	max. 0,15	max. 0,15
Cu	0,05 - 0,40	0,05 - 0,40	max. 0,05	max. 0,05
Mn	0,20 - 0,55	0,20 - 0,55	max. 0,03	max. 0,03
Mg	0,25 - 0,35	0,25 - 0,35	0,22 - 0,28	0,22 - 0,28
Ni	max. 0,15	max. 0,15	max. 0,03	max. 0,03
Zn	max. 0,35	max. 0,35	max. 0,07	max. 0,07
Pb	max. 0,10	max. 0,10	max. 0,03	max. 0,03
Sn	max. 0,05	max. 0,05	max. 0,03	max. 0,03
V	max. 0,05	max. 0,05	max. 0,03	max. 0,03
Cr	max. 0,05	max. 0,05	max. 0,03	max. 0,03
Ti	0,10 - 0,16	max. 0,08	0,12 – 0,18	max. 0,08
Zr	max. 0,05	0,14 - 0,18	max. 0,05	0,14 - 0,18
Bi	max. 0,007	max. 0,007	max. 0,004	max. 0,004
Na	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002
Ca	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002
B	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002
P	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002	max. 0,002
Li	max. 0,0005	max. 0,0005	max. 0,0005	max. 0,0005
Sb	max. 0,010	max. 0,010	max. 0,005	max. 0,005
Sr	0,015 - 0,025	0,015 - 0,025	0,007 - 0,021	0,007 - 0,021

3.5. Mechanické a fyzikální vlastnosti

V tabulce č. 5 jsou uvedeny minimální požadavky na mechanické a fyzikální vlastnosti hlavy válců k jednotlivým verzím produktů v odlitcích. Pro zkoušku v tahu při 25 ° C jsou tahová zkušební tělesa podle DIN 50125 a použijí se s maximální veli-

kostí, kde je to možné, z B3,5x17,5, B4x20, nebo B5x25 v závislosti na geometrii s vnějším závitem M5, M6 nebo M8. Pro tento proces musí být nejméně čtyři zkušební vzorky pro tahovou zkoušku. Tyto vzorky jsou připraveny z odlitku. Průměrné hodnoty, které musí splňovat minimální požadavky v tabulce č. 6, se vypočítají z alespoň 3 platných tahových zkoušek. Kromě toho, ve zlomeném vzorku v jeho povrchu, musí být na alespoň 75% všech zkušebních vzorků v tahu bez oxidů, spinel oxidu a strusek. V případě, že jsou zkušební vzorky ze spalovací komory desky, nesmí být ve vzorku žádné dutiny ani póry. [15]

Tabulka 5: Mechanické a fyzikální vlastnosti hlav válců [15]

PV	AC-Al Si ₁₀ Mg(Cu)TiSr K T73	AC-Al Si ₁₀ Mg(Cu)ZrSr K T73	AC-Al Si ₇ Mg0,25TiSr K T73	AC-Al Si ₇ Mg0,25ZrSr r K T73
<i>Charakteristika odlitku spalovací komory :</i>				
R_m	> 250 MPa	> 250 MPa	> 230 MPa	> 230 MPa
R_{p0,2}	> 200 MPa	> 200 MPa	> 190 MPa	> 190 MPa
A₅	>	>	> 8	> 8
Tvr- dost	> 7	> 75	> 75 HB	> 75 HB
α_{irrev.}	< 0,06 %	< 0,06 %	< 0,09 %	< 0,09 %
λ	> 150 W/mK	> 170 W/mK	> 170 W/mK	> 180 W/mK
<i>Charakteristika u zapalovací svíčky:</i>				
R_m	> 190 MPa	> 190 MPa	> 210 MPa	> 210 MPa
R_{p0,2}	> 160 MPa	> 160 MPa	> 170 MPa	> 170 MPa
A₅	>1%	> 1 %	> 3 %	> 3 %
Tvr- dost	> 70 HB	> 70 HB	> 70 HB	> 70 HB

Význam jednotlivých zkratk v tabulce 5:

R_m.....pevnost v tahu

R_{p0,2}.....mez kluzu při 0,2% plastické deformace

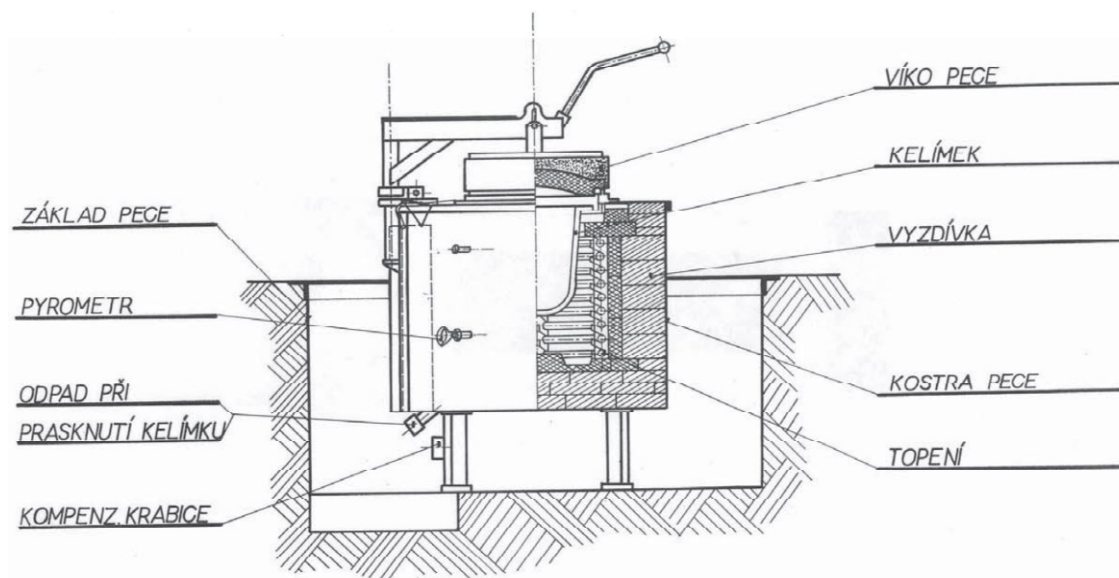
A₅.....tažnost po přetržení

α_{irrev}.....nevratná teplotní roztažnost v důsledku strukturální změny

λ.....tepelná vodivost

Hliníkovou slitinou, která se v současné době používá pro výrobu odlitků hlav je $\text{AlSi}_{10}\text{Mg}(\text{Cu})\text{TiSr}$. Její složení a mechanické vlastnosti jsou popsány ve výše uvedených tabulkách. [15]

3.6. Typy pecí, zařízení k lití a jejich charakteristiky



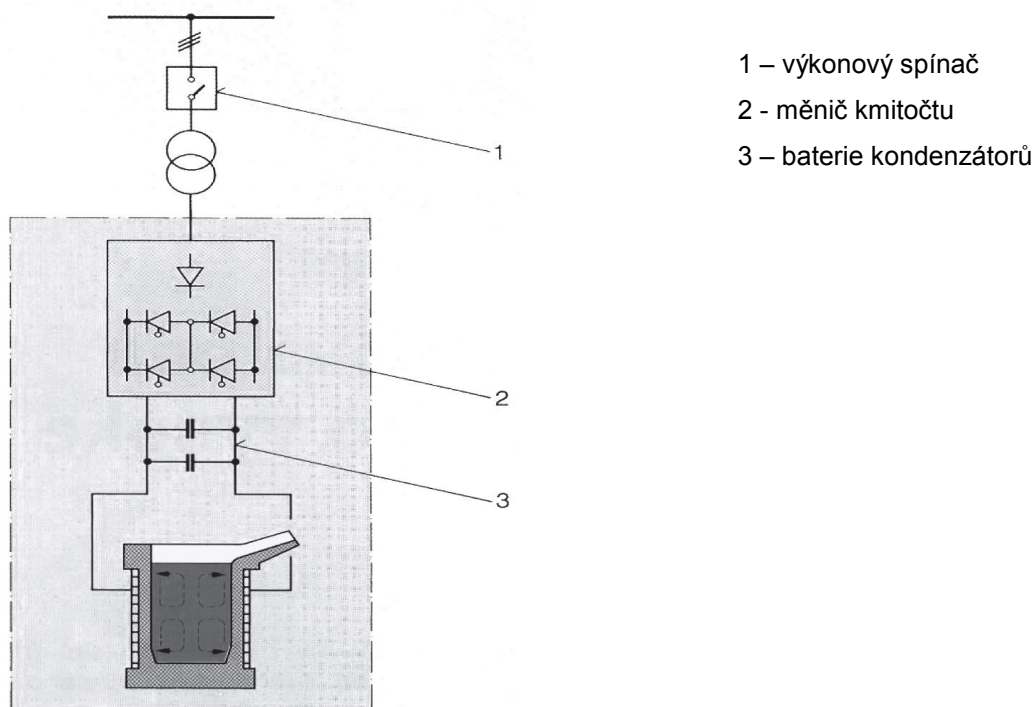
Obrázek 3: Schéma elektrické odporové kelímkové pece s kovovým kelímkem [2]

Elektrické pece odporové kelímkové – hlavní použití pro tavení slitin hliníku. Další použití je pro udržování určitého objemu taveniny na konstantní požadované teplotě. Jednou z častých instalací je součást pracovišť gravitačního lití do kovových forem, nízkotlakého a tlakového lití, tavicích a udržovacích pecí ve slévárnách přesného lití. Nevýhodou tohoto typu je pomalé tavení, nízký hodinový výkon a jeho odporový ohřev je do teplot 1000°C . Výhodou je dobrá regulovatelnost a zároveň čistota jejich provozu. K tavení můžeme používat jak kelímky grafitošamotové i z SiC , tak také kelímky nebo vany kovové ze žárovevných nebo žáruvzdorných slitin na bázi železa. Kovové kelímky i vany musí být vnitřně chráněné vyzdívkou nebo výduskou k zamezení přímého dotyku roztavených slitin hliníku s kovovým povrchem kelímků. Železo s hliníkem a jeho slitinami reaguje při vysokých teplotách. Částečně se rozpouští a vytváří se zde fáze bohaté na železo, které označujeme a – $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}_2$, fáze p – Al_5FeSi , a také fáze FeAl_3 . Ty svými vlastnostmi působí velmi negativně na plastické vlastnosti hliníku a jeho slitin.[2]

Elektrické pece odporové bubnové – výhody těchto pecí spočívají v možnostech nakládání nebo otáčení kolem horizontální osy. Natavení určitého množství kovu se provádí jednorázově jako jedna tavba. Tavení probíhá velmi pomalu, ohřev probíhá především sáláním. Odporový topný element má tvar tyče z grafitu a proto může být poškozen. Tento typ se v provozech sléváren nepoužívá.

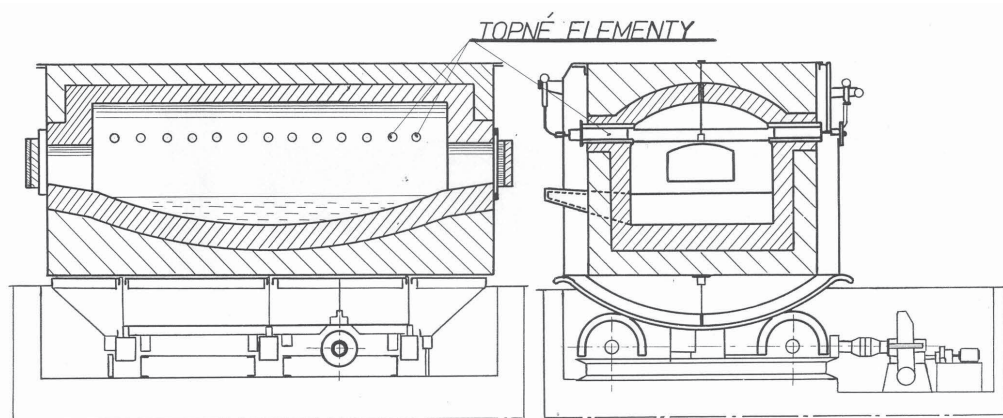
Elektrické pece indukční kelímkové - tento typ je často instalovaným tavicím zařízením ve slévárnách pro slitiny neželezných kovů. Jsou to výrobky z typicky kelímkové pece s indukční cívkou. Využívají elektrického proudu se střední nebo vysokou frekvencí. Pro kanálkové bubnové nebo nístějové pece nízkofrekvenční s frekvencí elektrického proudu musí být 50 Hz. Předávání energie na vsázku je založeno na jevu elektromagnetické indukce. Kanálkové pece nízkofrekvenční pracují na principu transformátoru. Pec je vybavena cívkou s jádrem z transformátorových plechů jako je tomu u transformátoru. Primární vinutí cívky je tvořeno měděným vinutím. Skrze transformátor prochází kanálek tekutého kovu. Výhodou těchto pecí je, že největší teplota je vespod vsázky, a tím dochází k rychlejšímu vyrovnání teplot v celém objemu taveniny. Nevýhodou těchto pecí je skutečnost, že se zanášejí při tavbě hliníku a jeho slitin zanášejí kanálky, a to z důvodu reakce s vyzdívkou. To se odstraňuje mechanickou cestou.

Nejvýhodnější je tavení v el. indukčních kelímkových pecích s použitím elektrického středního proudu nebo vysokých frekvencí. Pro tavení menších objemů kovů nebo slitin se používají tavicí indukční pece. Mají elektrickou i tavicí část umístěnou na společné základně. Jednou z možností je řešení s výsuvným kelímkem nad tavicí pecí, druhá možnost je, použití dvou podstavců pro tavicí kelímky a jeden pohyblivý induktor. Tento se pohybuje ve směru vertikálním a zároveň se může otáčet. Uspořádání tímto způsobem má velkou výhodu v tom, že zároveň v době tavení může být v dalším kelímku připravena tavba na druhém podstavci. Tato pec je položena bez ukotvení na podlaze slévárny, proto může být kdykoliv přenesena na libovolné místo.



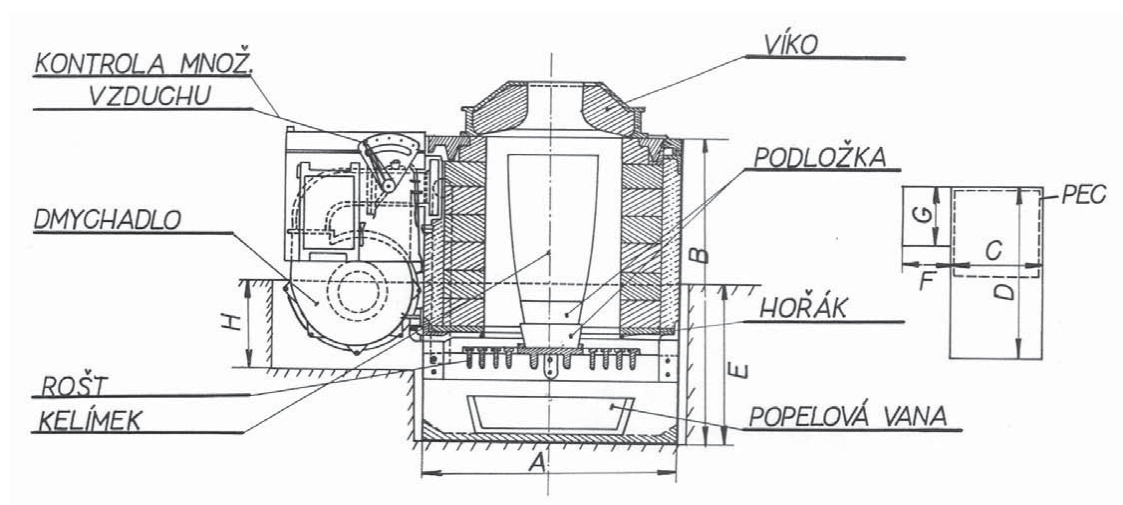
Obrázek 4: Schéma elektrické indukční středofrekvenční pece [2]

Elektrické pece odporové – tyto pece nacházejí uplatnění jako udržovací pece pro větší objem natavených slitin. Pro každou slitinu, která se odlévá, je instalována samostatná pec. V této peci dochází k udržování taveniny na konstantní teplotě v celém objemu. Dochází zde k vyrovnání chemického složení slitin. Topné spirály (elementy) jsou vyrobeny z karbidu křemíku nebo jiných nekovových materiálů. Většinou bývají umístěny ve stropu nebo ve stěnách vnitřního prostoru pece. Obvykle jsou chráněny před poškozením a to uložením v trubicích ze žáruvzdorných materiálů. Tento způsob je použitelný i v oblastech pecí pro nízkotlaké lití.



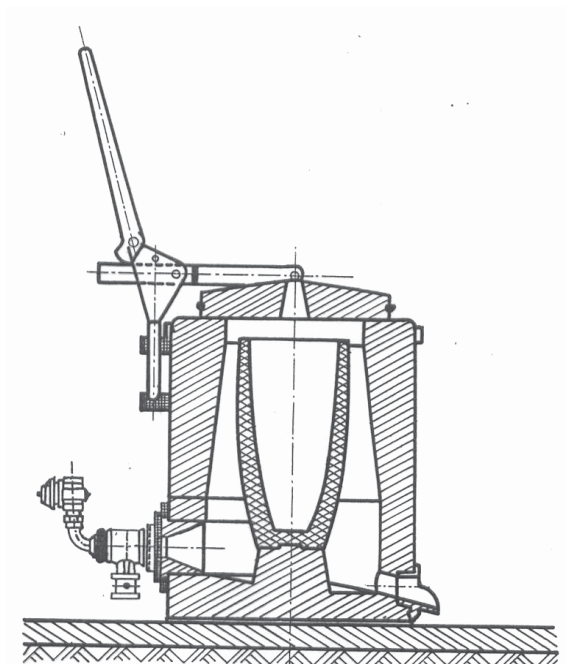
Obrázek 5: Řez nístějovou pecí - elektrickou odporovou [2]

Palivové pece kelímkové - tyto pece jsou jedny z nejstarších řešení tavení slitin neželezných kovů. Palivem pro tyto pece jsou pevná paliva (koks), kapalná paliva (nafta, lehký topný olej, mazut) a plynná paliva (dnes zemní plyn). Je to nejjednodušší metoda tavení. Realizují se s co možná nejnižšími investičními a provozními náklady. Můžeme tavit kovy a jejich slitiny do teploty přehřátí cca 1200 °C. Obrovskou nevýhodou je velmi nízká energetická účinnost a také dotyk taveniny s atmosférou tavicí pece. Tyto pece se přes tyto nedostatky vyskytují ve slévárnách velmi často. [2][13]



Obrázek 6: Kelímková pec - tuhá paliva [2]

(Zdroj: [2])



Obrázek 7: Kelímková pec - plynná paliva [2]

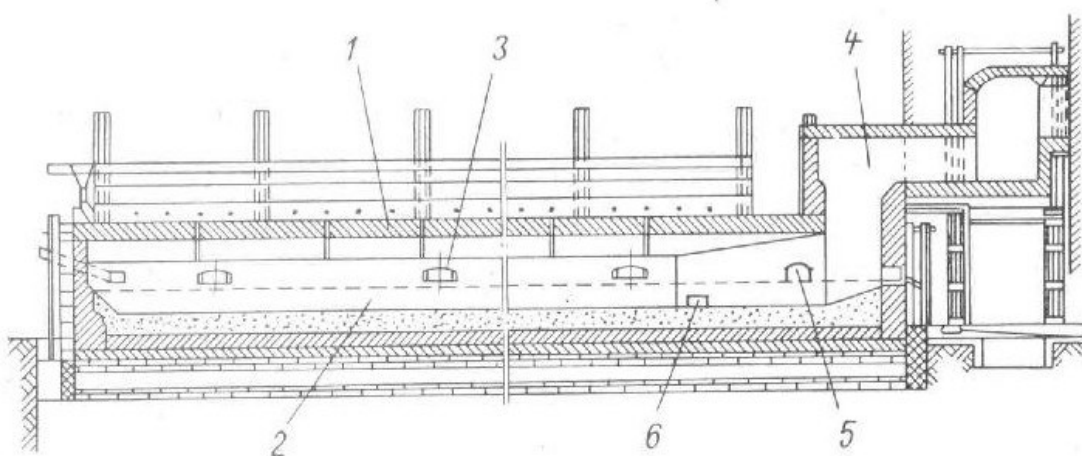
Palivové pece bubnové - použití tohoto typu pece je pro jednorázovou potřebu velkého množství roztavené slitiny. Pec je možno naklánět a případně i otáčet okolo horizontální osy. Na jedné straně, v ose pece, je umístěn hořák a z druhé strany je instalován odtah spalin. Ohřev vsázky je v přímém styku s plamenem, a to jak v tuhém, tak i tekutém stavu. Roztavení vsázky je velmi intenzivní. Dochází zde k přímému styku spalin se vsázkou. Vnější obal pece je menší než u níže uvedené nístějové pece se stejnou kapacitou. Ztráty tepla povrchem tavicí pece jsou menší. [2][11][6]



Obrázek 8: Pec bubnová [12]

Palivové pece nístějové - tyto pece jsou stavěny ve slévárnách pro tavení velkého množství slitin hliníku. Každá pec je určena pro jeden druh tavení jednoho druhu slitiny. V těchto moderních pecích se používají tzv. vysokorychlostní hořáky. Jsou obohacovány spalováním vzduchu kyslíkem, rekuperací nebo regenerací spalin. Tepelná izolace je z vláknitých keramických materiálů. Umístění hořáků a jejich počet je řešen výrobcem. Tento typ pecí tvoří vanu pro taveninu, na jedné straně vsázky přechází v šikmou plochu pro její předehřev, na protilehlé straně je přizpůsobena k odběru taveniny z pece. Tavicí pec se může naklánět dle potřeb do všech stran. Energetická účinnost těchto typů pecí je ve srovnání s jinými typy vysoká. Hliník a jeho slitiny nekryjí speciální taviva, ale vytvářejí souvislou vrstvu oxidů. Ztráty propalem jsou vyšší než u elektrických tavicích pecí. Velmi důležitá je životnost vyzdívky. Kvalitu taveniny pozitivně ovlivňuje vysoká kvalita vyzdívky. Tato vyzdívka musí odolat vysoké teplotě okolo

1000 °C, při níž nesmí dojít k porušení její souvislosti. Mohlo by také dojít k vzájemnému chemickému ovlivňování. Nevhodné vyzdívací materiály jsou keramické materiály s vysokým obsahem SiO_2 . Hliník by mohl oxid křemičitý z vyzdívky redukovat. Křemík by mohl přecházet do taveniny, a tím změnit její chemické složení. Vhodným materiálem pro tyto účely jsou materiály na bázi Al_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 , případně chrommagnezit nebo také šamot. Tyto podobné materiály lze použít také k tepelné izolaci jeřábových pánví pro přepravu tavenin, popř. i v jiných zařízeních ve slévárnách. Tepelné ztráty lze velmi účinně snížit použitím vláknitého keramického materiálu. [10][2]



Popis: 1 – zavěšená klenba pece; 2 – nístěj; 3 – pracovní otvory; 4 – odvod spalin; 5 – výpust; 6 – odpich

Obrázek 9: Nístějová pec palivová [2]

Palivové pece nístějové dvoukomorové - tento typ pece je určen pro tavení velkého množství slitin hliníku. Je zde samostatná sázecí šachta. Odřezky a jiný vratný materiál ze slévárny dodaných slitin je vsázen do šachty zavážecím zařízením. Zde dochází k postupnému zahřívání a v nižších prostorách šachty pak dochází k samotnému natavení. Roztavená slitina následně vytéká samospádem do udržovací komory tavící pece. V prostoru udržovací komory je možno provádět mechanické čištění hladiny taveniny. Pro tento typ pece je význačná vysoká energetická účinnost. Využívá tepelný obsah spalin. Při optimálním seřízení hořáků jsou zde minimální ztráty oxidací. [11]



Obrázek 10: Dvoukomorová nístějová pec [12]

4. Popis technologie tavení špon

V současné době existují v podstatě dva způsoby zpracování třísek, které mají za úkol jejich využití. Rychlé a cenově výhodnější briketování a nebo nákladná metoda tzv. submerged melting. Tato metoda je složitější a postupně zde dochází k odstředování s následným sušením a tavením v soupravě pecí s vmíchávacím zařízením. U tohoto způsobu se uvádí výtěžek tavení asi 98%. [5]

4.1. Briketování

Proces briketování hliníkových třísek je založen na stlačování pod vysokým tlakem do formy – briket. Během tohoto procesu je postupně vytlačována chladicí kapalina obsažená v třískách. Např. v hmotnosti třísek 100 t je při podílu kapaliny 15% okolo 15.000 litrů řezné emulze. Což může činit úsporu 2.000 až 5.000 EUR. Čistý, nebo i málo legovaný hliník se dá snadno briketovat. Tento materiál je velmi měkký a také se dá snadno tvarovat. U měkké slitiny lze použít tlak cca 1.700 kg.cm^{-2} pro brikety a hustota je kolem $2,0 \text{ kg l}^{-1}$. Při lisovacím tlaku 3.700 kg.cm^{-2} docílíme hustoty $2,6 \text{ kg.l}^{-1}$. Tato hodnota je v některých případech požadována. Vyšší požadavky na briketovací stroje se kladou při slitinách s křemíkem. Můžeme říci, že při vyšším podílu křemíku musí být větší lisovací tlak. Již při podílu zhruba 6% je tento efekt znát. Slévárenské slitiny mají obvykle podíl křemíku do 12% v některých případech až 17%. Pro briketování těchto třísek, a tím docílení stabilních výlisků o minimální hustotě $2,0 \text{ kg l}^{-1}$, je nutno použít lisovací tlak 3.000 kg.cm^{-2} . Pro minimální hustotu $2,4 \text{ kg.l}^{-1}$ a vyšší, musíme použít tento lisovací tlak a vyšší. Na hustotě briket závisí její následné využití. Při vyšší hustotě briket jsou ztráty při tavně menší, a tím je mnohem vyšší výkupní cena. Při tavení briket je nutno ponořit tyto do kapalné hliníkové lázně a z toho důvodu se vyžaduje hustota briket minimálně $2,4 \text{ kg l}^{-1}$. [5][3][8]

Výhody briketování:

- Briketováním se zvyšuje hodnota vzniklého odpadu a výkupní cena se tím zvýší.
- Řezné kapaliny, které byly v předchozích způsobech zpracováním ztraceny, je možné po recyklaci opětovně použít.
- Brikety jsou téměř bez chladicí kapaliny oproti odpadu špon, zamezí se úniku této kapaliny při převozu ke zpracování – v závodě nebo do zpracovatelského závodu.

- Briketování eliminuje potřebu praní a sušení špon, a tím odstraňuje nákladné procesy s tím související.
- Náklady na dopravu, manipulaci a skladování jsou sníženy v důsledku snížení objemu dosaženého briketováním.
- Brikety jsou oproti šponám podstatně lépe skladovatelné a tím se snižují rizika jak zdravotní, tak i bezpečnostní.
- Zbytková řezná emulze nepředstavuje téměř žádné riziko ekologické zátěže.



Obrázek 11: Hliníkové třísky a briketa



Obrázek 12: Briketovací lis firmy RUF s kontejnerem na brikety

4.2. Submerged melting

Touto metodou se odstraňují nedostatky současného stavu tavení hliníkového materiálu. Zadržovací komory konvenčního tavení a udržovací pece mají ploché dno, které má spoustu nevýhod. [7]

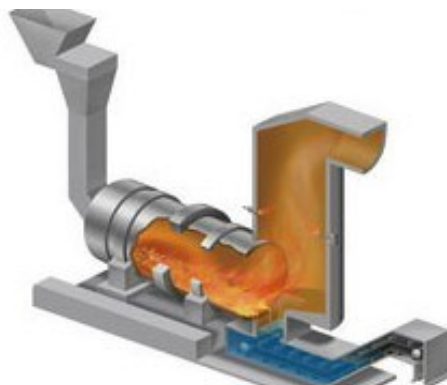
- Tavenina o nízké teplotě proudí z tavící komory do udržovací komory šachtou, a to snižuje teplotu taveniny.
- V důsledku nízké teploty taveniny, která proudí z tavící komory do zadržovací komory, se dostávají do produktu nepřípustné látky (železo, křemík a další látky). Tyto látky zhoršují kvalitu produktu.
- Tavenina, která se roztaví a vytéká z tavící komory, obsahuje velké množství plynu, jako např. vodík. Odlitky z této taveniny mají vysoký podíl vad – porezit.

Hlavním cílem této metody je udržet teplotu taveniny na stejné teplotě po celou dobu, kdy je přemísťována z tavící pece do udržovací. Pece se skládají z tavící a udržovací komory, mezi kterými jsou ponorné vrstvy. Ty probíhají příčně od linie spojující tavící komoru a šachtu. [7]

Funkce pecí:

- Hliníková surovina se přivádí do předehřívací šachty, kde se taví.
- Roztavený materiál z tavící části proudí do udržovací komory. Po celou dobu proudění roztaveného materiálu je stálá teplota.
- Roztavený materiál se zahřívá na zvolenou teplotu hořáky. I v procesu zahřívání materiál neustále proudí přes ponorné vrstvy do udržovací komory.
- V průběhu tohoto pohybu roztavený materiál uvolňuje plyny a nežádoucí prvky zůstávají v ponorných vrstvách.
- Stabilizovaný materiál je odstraňován průběžně ze šachty do procesu odlévání.

Výhody této metody spočívají v tom, že mezi tavící a udržovací komorou jsou ponorné vrstvy. Během proudění dochází ke stabilizaci taveniny, a tím se nedostanou oxidy a nežádoucí prvky do produktů. [7][11][14]



Obrázek 13: Pece využívající systém SUBMERGED MELTING [11]

5. Experimentální část – test briketování znečištěných špon, test tavení, proces čištění a sušení špon

5.1. Test briketování znečištěných špon

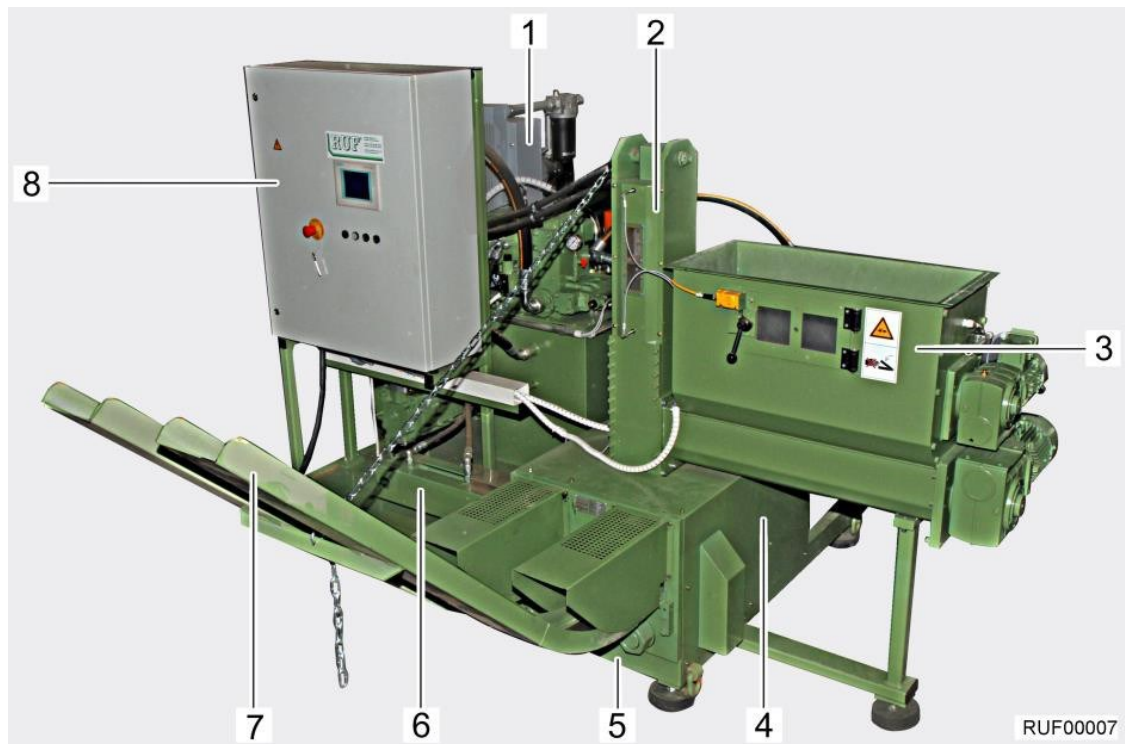
Zařízením pro testování znečištěných špon je briketovací lis od společnosti RUF. Hydraulické lisy této společnosti dokáží vygenerovat specifický lisovací tlak až $5\,000\text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$. Lisy dokáží vytlačit z vlhkých špon řeznou kapalinu, kterou můžeme opět po úpravách použít. Výtěžnost briket oproti volným třískám je podstatně vyšší. Rozměry briket od společnosti RUF jsou volitelné. Tvary výstupního materiálu jsou závislé na požadovaném výkonu a tloušťce vrstvy. Vstupní materiál je z obráběcího centra společnosti GROB viz obr. č. 14



Obrázek 14: Obráběcí centrum společnosti GROB

5.1.1. Popis zařízení

Briketovačka - se skládá z přívodu materiálu (3), předzhuťovače (2), lisovací části (4), válci výměny formy (6), hydrauliky (1), elektrického ovládání (8) a výstupního žlabu (7).



Obrázek 15: Popis částí briketovacího lisu

- **Parametry:** jmenovité napětí 400V 50 Hz, jmenovitý proud 57 A, řídicí napětí 24 V, nosnost 1 000 kg.
- **Technické detaily:** stabilní rámová konstrukce, malá potřeba místa, tichý chod max. L = 94,3 dB, pohon elektromotorem, vhodné i pro prostory s nízkou výškou stropu, odolnost proti opotřebení (pohyb dílů minimální), nízké náklady na údržbu, maximální lisovací tlak je 300 kg.cm^{-2}
- **Vstupní materiál** hliníkové špony z obráběcího centra.



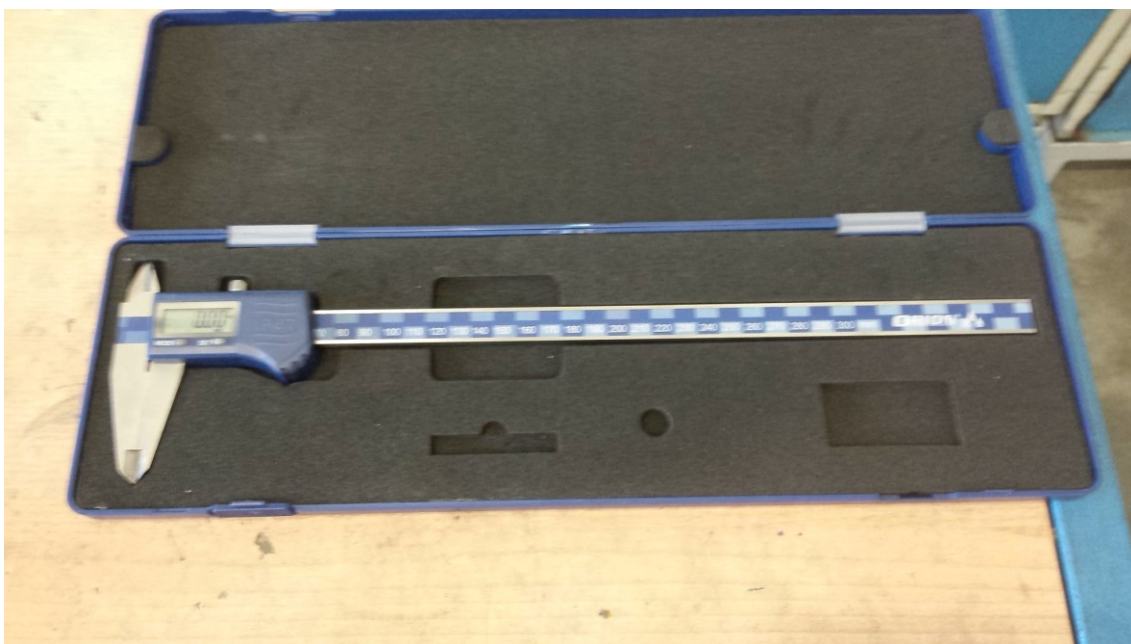
Obrázek 16: Hliníkové špony v převozním vozíku

5.1.2. Test briketování

Pro test jsem vybral 10ks briket dle obr. č. 17. Tyto brikety jsou označené čísly, rozměry (průměr a výška) jednotlivých briket byly změřeny posuvným digitálním měřidlem firmy ORION do 300 mm a hloubkoměrem viz obrázek č. 18. Jednotlivé brikety jsem zvažil na digitální váze obrázek č. 19. Váha je určena pro vážení legujících prvků na tavírně naší společnosti. Změřené hodnoty jsou zapsány v tabulce č. 6. Výsledkem testu je hustota jednotlivých briket v závislosti na váze a rozměrech vzorků. Z testu vyplynulo, že při nastaveném lisovacím tlaku 270 bar jsou hodnoty hustoty vyšší než minimální požadovaná hodnota tj. $2,4 \text{ kg.dm}^{-3}$, která je požadována pro brikety určené k tavení.



Obrázek 17: Testované brikety



Obrázek 18: Posuvné měřidlo digitální zn. ORION



Obrázek 19: Digitální váha

Tabulka 6: Rozměry a hustota briket

test briketování			
briketa č.	váha (kg)	rozměry r, h (dm)	hustota (kg.dm⁻³)
1	0,748	0,4 x0,6	2,49
2	0,77	0,39x0,61	2,65
3	0,726	0,4x0,61	2,34
4	0,802	0,39x0,59	2,86
5	0,75	0,4x0,61	2,42
6	0,722	0,39x0,62	2,44
7	0,768	0,4x0,61	2,48
8	0,72	0,39x0,59	2,57
9	0,76	0,4x0,61	2,45
10	0,792	0,39x0,59	2,82
průměr hustoty			2,552

5.2. Proces čištění a sušení špon

Proces čištění a sušení byl proveden společností Dürr AG se sídlem v Ledči nad Sázavou. Na základě požadavků naší společnosti byly provedeny dva testy. V prvním testu bylo provedeno odmašťování hliníkových špon a sušení. V druhém testu byla po celkovém procesu přidána další operace, a to dodatečné druhé sušení. [9]

5.2.1. Test č. 1 - proces odmaštění špon

Celkové množství, cca 150 kg Al špon, bylo vypráno ve dvou variantách po cca 75 kg. Vzhledem k dvoutankovému řešení stroje bude v testu č. 2 provedena simulace 3. tanku pomocí ručního oplachu v čisté vodě z řádu, k porovnání vlivu zbytkového detergentu při tavícím procesu. Hodnocení testu provede zákazník na základě analýzy spalín z tavící pece. Na základě tohoto hodnocení budou případně dohodnuty další testy k optimalizaci procesu.

Specifikace dílů: hliníkové špony z obrábění kontaminované řeznou emulzí.

Tabulka 7: Test č. 1.1

	Čištění				Sušení
Nádrž	FT1	x	FT2	x	Horký vzduch (°C)
Médium	HP 700 BF	x	HP 700 BF	x	x
Koncentrace(%)	2	x	1	x	x
Filtr	B100	x	B100	x	90-100
Teplota (°C)	69	x	68	x	x
Čas (s)	600	9	300	90	180
Proces	IFW	Drip	IFW	Drip	x
Pohyb	R	R	R	R	R

Výsledek: Špony vlhké, se zbytkem detergentu, emulze odstraněna. Díky absenci přítlačného víka se část špon dostala do pracovní komory při první dávce, poté zajištěno stahovacími pásky. Dohromady vypráno cca 75 kg v 7 dávkách. Horkovzdušné sušení neúčinné, proto od 4. dávky sníženo na nejnižší možný čas 15 s. Plnění koše v rozmezí cca 40-75 %.

Celkový čas tohoto procesu byl 1415 s.

Zkratky: R – rotace, IFW – Vstřikovací praní zaplavováním , Drip - Odkapávání , B100 – Sáčkový filtr

Tabulka 8: Test č. 1.2

	Čistění				Sušení	
Nádrž	FT1	x	FT2	x	Horký vzduch (°C)	
Médium	HP 700 BF	x	HP 700 BF	x	x	
Koncentrace(%)	2	x	1	x	x	
Filtr	B100	x	B100	x	90-100	
Teplota (°C)	70	x	70	x	x	
Čas (s)	400	90	60	90	15	
Proces	IFW	Drip	IFW	Drip	x	
Pohyb	R	R	R	R	R	

Výsledek testu: Špony vlhké se zbytkem detergentu, emulze odstraněna. K odstranění zbytkového detergentu simulace 3. tanku pomocí následného ručního oplachu ve vodě. Dohromady vypráno cca 75 kg v 6 dávkách. Plnění koše v rozmezí cca 40-75 %.

Celkový čas tohoto procesu byl 810 s.

Zkratky: R – rotace, IFW – Vstřikovací praní zaplavováním, Drip - Odkapávání , B100 – Sáčkový filtr

5.2.2. Test č. 2 - s druhým sušením

Oproti testu č. 1, byl zařazen oplach z 3. tanku k dosažení vyšší účinnosti i efektivit mytí. Plnění koše bylo cca 65 % a čas cyklu v průměru 740 s. Pro zvýšení průchodnosti lze s těmito hodnotami dále pracovat v návaznosti na zpětnou vazbu zákazníka s ohledem na specifický test hodnocení kvality mytí. Bylo ověřeno, že dokonalého vysušení špon v komoře stroje není možné dosáhnout ani za pomoci horkovzdušného nebo vakuového sušení, má-li být současně splněn požadavek na průchodnost. Důvodem je velký povrch a počet dutin, kde se voda drží. Po diskuzi se zákazníkem se jako řešení jeví zařazení externího sušicího kroku, například na bázi pásového dopravníku, kde jsou v tenké vrstvě špony ofukovány horkým vzduchem.

Při parametrech tohoto testu lze dosáhnout propustnosti 1900 kg/den. Požadavek naší společnosti je 2500 kg/den, což je dosažitelné upravením procesních parametrů a vyšším plněním koše.

Dále byla se zákazníkem prodiskutována možnost separace nejjemnějších frakcí špon v dalším technologickém kroku před praním, čímž by se prodloužila doba výměny filtrů a také se zredukoval podíl emulze vstupující do pračky, což by vedlo ke zvýšení životnosti prací lázně. Specifikace dílů: hliníkové špony z obrábění kontaminované řeznou emulzí.

Tabulka 9: Test č. 2

	Čistění							Sušení	
Nádrž	FT1	FT1		FT2		FT3		Horký vzduch (°C)	Vakuum tlak (mbar)
Médium	HP 700 BF	HP 700BF	x	DI voda	x	DI voda		x	x
Koncentrace(%)	2	2	x	x	x	x		x	x
Filtr	B100	B100	x	B100		K25		70 - 110	max.80
Teplota (°C)	78	78		78		79		x	x
Čas (s)	60	60	30	45	30	45	60	60	60
Proces	IFW	WE-WA	Drip	IFW	Drip	IFW	Drip	x	x
Pohyb	R	R	R	R	R	R	R	R	R

Výsledek: Emulze byla ze špon odstraněna, zkoušku provedeme v naší společnosti. Vyprané špony vycházely z pračky vlhké. Úroveň plnění koše byla cca 65 %, což zhruba odpovídá 17 kg hliníkových špon na dávku. Vypráno celkem cca 180 kg hliníkových špon.

Byl proveden pokus dodatečného sušení na vyprané dávce spočívající v dalším cyklu sušení 150s horkým vzduchem, a následně 150s vakuovým sušením (odpočet po dosažení 80 mbar). Špony byly vytaženy výrazně studenější a stále vlhké. Následně byl proveden další test na stejné dávce pro ověření možnosti vakuového sušení. Další cyklus měl parametry 15 - horkovzdušné sušení a 200 – vakuové, s tím, že odpočet času byl spuštěn po dosažení podtlaku 10 mbar, což trvalo velmi dlouho, cca 15 min. Po vytažení koše byly špony velmi studené, pocitová teplota do 5 °C, a sušší, ale ne dokonale suché. Tento jev souvisí s výparným teplem vody, která ho při fázové přeměně odebírá materiálu, ze kterého se odpařuje.

Na základě těchto testů bylo doporučeno sušení provést externě v tenké vrstvě, pomocí horkého vzduchu nebo infračerveného zářiče.

Celkový čas tohoto procesu byl 740 s.

Zkratky: R – rotace, IFW – Vstřikovací praní zaplavováním, Drip - Odkapávání , B100 – Sáčkový filtr, WE-WA odmaštění parou

5.3. Test tavení

Pro proces tavení použijeme plynovou kelímkovou udržovací pec PCD 1200 Al, která je určena k tavení a udržování hliníkových slitin na licí teplotě.



Obrázek 20: Tavicí a udržovací pec PCD 1200

5.3.1. Popis zařízení

- **Plynová sklopná kelímková pec** - kostra pece je ve tvaru válcové nádoby svařena z ocelových plechů a profilů. Umístěna je do ukotvené rámové konstrukce opatřené čepy pro sklápění. Tepelná izolace pracovního prostoru je zhotovena z vysokoteplotního izolačního materiálu. Ve vnitřním prostoru pece je uložen keramický tavný kelímek, který je zabezpečen proti posunutí. Pec je opatřena demontovatelnou horní krycí deskou ze žárobetonu a tepelně izolovaným víkem. Je zde umístěn mechanismus pro ruční zvedání a otáčení. Topení zajišťuje plynový hořák. Umístěný je na boku pece a zaústěný do topného prostoru. Po vyklopení pece je zakryt klapkou, která zamezuje sálání. Součástí pece je vyústění odtahu spalin do komína, který je opatřen tepelně izolační vyzdívkou.
- **Plynové hořáky** - je zde instalován monoblokový přetlakový hořák pro spalování zemního plynu. Hořák je vybaven modulační krokovou regulací výkonu tzn., že pracuje v režimu více výkonu – nastavená hodnota – méně výkonu a je řízen dvěma kontakty regulátoru teploty.
- **Parametry** - jmenovité napětí 3 x 400 V 50Hz , jmenovitý topný výkon 480 kW, jmenovitá teplota 1 000°C, palivo zemní plyn, přetlak 20kPa, výhřevnost 34 500 kJ.m⁻³ , prostředí v peci OXID, hmotnost tělesa pece 5 700 kg, celkový elektrický příkon 16kVA.

5.3.2 Test a vyhodnocení tavení briket

Pro test a vyhodnocení tavení jsem použil celkově 30 ks briket rozdělených dle přípravy na tři části. Z každého testu byl odebrán kontrolní vzorek. Tento vzorek byl proměřen tří jiskrovým spektrometrem pro zjištění chemického složení. Dále byla provedena vizuální kontrola kouřivosti jednotlivých vsázek. Přístroj pro kontrolu úniku nebezpečných par do ovzduší nebyl použit z důvodu malého počtu kusů v jednotlivých vsázkách.

5.3.2.1. Test č. 1

Vstupní materiál: 10 ks briket bez předchozích úprav. Tyto brikety byly znečištěny řeznou emulzí.

Zařízení: briketovací stroj výrobce RUF dále již „BS“.

Vizuální kontrola: kouřivost po vložení vzorků do pece byla velmi negativní – vytvořil se velmi hustý černý dým. Byl pořízen videozáznam, na kterém je vše zdokumentováno. Tento záznam je součástí vloženého disku.

Byl odebrán vzorek, jeho chemické složení je uvedeno v tabulce č. 1

Tabulka 10: Chemické složení testu č. 1 [9]

Vzorek č.1 test									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
minimální hodnota	9		0,05	0,2	0,28				
skutečná hodnota	9,78	0,364	0,228	0,307	0,306	0,137	0,0102	0,021	0,0114
maximální hodnota	11	0,55	0,4	0,55	0,35	0,35	0,1	0,05	0,1
	Sn	Ti	B	Ca	Na	P	Sb	Sr	Al
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
minimální hodnota		0,1						180	
skutečná hodnota	0,0019	0,109	<1,0	9,63	2,05	6,42	11,23	183	88,7
maximální hodnota	0,05	0,16	20	20	20	20	100	240	

5.3.2.2. Test č. 2

Vstupní materiál: hliníkové špony byly předpřipraveny v testu č. 1 při čištění špon. Tento materiál byl vložen do BS a z tohoto materiálu bylo vybráno 10ks briket, které byly použity pro tavení.

Zařízení: briketovací stroj výrobce RUF.

Vizuální kontrola: kouřivost byla oproti předchozímu testu výrazně nižší. Byl opět pořízen videozáznam z tohoto testu.

Byl odebrán vzorek, jehož chemické složení je uvedeno v tabulce č. 2

Tabulka 11: Chemické složení testu č. 2 [9]

	Vzorek č. 2 test								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
minimální hodnota	9		0,05	0,2	0,28				
skutečná hodnota	9,79	0,41	0,261	0,328	0,321	0,154	0,0108	0,0267	0,0207
maximální hodnota	11	0,55	0,4	0,55	0,35	0,35	0,1	0,05	0,1
	Sn	Ti	B	Ca	Na	P	Sb	Sr	Al
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
minimální hodnota		0,1						180	
skutečná hodnota	0,0023	0,114	<1,0	10,58	2,85	6,85	14,04	209	88,53
maximální hodnota	0,05	0,16	20	20	20	20	100	240	

5.3.2.3. Test č. 3

Vstupní materiál: předpřipravené hliníkové špony použité v testu č. 2 při testu čištění špon. Tento materiál byl vložen do BS a z tohoto materiálu bylo vybráno 10ks briket, které byly použity pro tavení.

Zařízení: briketovací stroj výrobce RUF.

Vizuální kontrola: kouřivost z tohoto testu byla minimální a tudíž, pro trvalý proces následného zpracování briket tavením v naší společnosti, byl vyhodnocen, jako nejlepší ze všech uvedených testů.

Tabulka 12: Chemické složení testu č. 3 [9]

	Vzorek č. 3 test								
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb
	%	%	%	%	%	%	%	%	%
minimální hodnota	9		0,05	0,2	0,28				
skutečná hodnota	9,79	0,402	0,254	0,318	0,313	0,14	0,0106	0,0231	0,0106
maximální hodnota	11	0,55	0,4	0,55	0,35	0,35	0,1	0,05	0,1
	Sn	Ti	B	Ca	Na	P	Sb	Sr	Al
	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
minimální hodnota		0,1						180	
skutečná hodnota	0,0021	0,11	<1,0	8,73	2,03	5,53	13,76	181	88,6
maximální hodnota	0,05	0,16	20	20	20	20	100	240	

6. Ekonomická rozvaha - úspory v dopravě, úspory za hliník, úspory za řeznou emulzi

V této kapitole jsou vypočítány úspory za VZV, za dopravu – odvoz kontejnerů, za řeznou emulzi, nákup ingotů a odvoz briket, které jsou zpracovány v jiné společnosti.

6.1. Úspory v dopravě – odvoz VZV

V této části jsou spočítány náklady za jednu směnu, za jeden den, za jeden měsíc a jeden rok. V naší společnosti máme tří směnný provoz za pět pracovních dní.

Vstupní údaje:

- Vzdálenost - nová hala (obrobná) ke kontejnerům 500 m
- Spotřeba VZV 21 litrů na 100 km
- Nákupní cena nafty 23 Kč za 1 litr
- Převozní kontejner na špony - obsah průměrně 150 kg
- Převozní kontejner na brikety obsah průměrně 1400 kg

Tabulka 13: Přehledová tabulka 1

	směna	Den	měsíc	rok
Al špony - počet jízd	18	54	1134	13608
vzdálenost v km	9	27	567	6804
spotřeba VZV (100km na 21 litrů)	1,89	5,67	119,07	1428,84
náklady (23Kč na 1 litr nafty)	43,47	130,41	2738,61	32863,32
brikety - počet jízd	2	6	126	1512
vzdálenost v km	1	3	63	756
spotřeba VZV (100km na 21 litrů)	neuvádím	neuvádím	13,23	158,76
náklady (23Kč na 1litr nafty)	neuvádím	neuvádím	304,29	3651,48

V tabulce je přehledně spočítána ujetá vzdálenost v km a spotřeba nafty v litrech. Celkové roční ušetřené náklady jsou vypočítány rozdílem při odvozu špon a briket.

- Náklady špony / rok.....32.863,32 Kč
- Náklady brikety / rok.....3.651,48 Kč
- Vyčíslená úspora29.211,84 Kč

Celkově ušetřené roční náklady (nafta) na provoz VZV činí 29.211,84 Kč.

6.2. Úspory v dopravě – odvoz kontejnerů

Přepravní společností odvázející hliníkový odpad je METAL Trade Comax se sídlem ve Velvarech. Tato společnost převáží kontejnery nákladními automobily značky SCANIA.

Vstupní údaje:

- Vzdálenost Havraň – Velvary 1 jízda 77 km
- Odvoz počítán jako dvě jízdy tj. 154 km
- Spotřeba nákladního automobilu je 28,8l /100 km
- Počet odvozů za měsíc - kontejner se špony 8 – 9x
- Počet odvozů za měsíc - kontejner s briketami 5 – 6x

Tabulka 14: Přehledová tabulka 2

	špony	brikety	úspora
počet odvozů	9	6	3
vzdálenost (Km)	1386	924	462
spotřeba nafty (l)	399	259	140
cenové náklady za spotřebu nafty (Kč)	9177	5957	3220

Úspora pro odběratele činí za jeden měsíc 462 km a 140 l paliva. Při průměrné spotřebě nákladního automobilu (údaje od odběratele) 28,8 l / 100 km dojde k úspoře 3.220 Kč za jeden měsíc. Roční úspora by měla být 38.640,- Kč při vzdálenosti 5544 km. Tím dochází i ke snížení ekologické zátěže ovzduší a spodních vod.

6.3. Úspory za řeznou emulzi

Řeznou emulzi zn. NOVAMET používáme na nové hale, (obrobna), na obráběcích strojích firmy GROB. Tato emulze se dodává se velkoobjemových plastových barelech.

Vstupní údaje:

- NOVAMET objem 920l cena 103.550,- Kč
- Spotřeba emulze - špony 1 nádrž za 4 týdny obrábění
- Spotřeba emulze - brikety 1 nádrž za 6 týdnů obrábění

Ze vstupních údajů vyplývá, že spotřeba emulze při starém způsobu odvozu špon činí 1 balení za měsíc tj. 920 l. V současnosti používáme briketovací stroj a spotřeba řezné emulze činí zhruba 620 l za měsíc oproti předchozímu způsobu odvozu.

- Každé 3 měsíce se ušetří 1 balení tj. 103.550,-Kč
- Roční úspora činí 4 balení tj. 414.200,- Kč

V případě používání proplachu špon před sušením a briketováním by úspora na spotřebě NOVAMETU byla vyšší. V současné době nelze tuto položku vyčíslit.

6.4. Úspory za hliník

Měsíční spotřeba hliníku se pohybuje v závislosti na požadavcích zákazníka o počtu hlav, které požaduje. Na základě této skutečnosti se pohybuje měsíční spotřeba hliníku mezi 800 t – 1000 t. Budeme počítat spotřebu za měsíc duben 900 t hliníku. Tuto spotřebu můžeme rozdělit do několika položek – ingoty, vraty, (nálitky, odřezky) a tekutý hliník, který se dováží ze společnosti OETINGER.

Vstupní údaje:

- Ingoty: nákupní cena 51,49 Kč/ 1kg
- Tekutý hliník: nákupní cena 51 Kč/ 1 kg
- Výkupní cena špon, briket: průměrně 26 Kč/ 1 kg
- Ingoty: spotřeba 380 – 450 t/měsíc, za měsíc duben spotřeba 435t
- Vraty (odřezky, nálitky): 410 t/ měsíc
- Tekutý hliník: 50 – 60 t/ měsíc, za měsíc duben spotřeba 55 t /měsíc
- Odvoz špon nebo briket: 85,49 t /měsíc

Tabulka 15: Přehledová tabulka 3

	váha (t)	cena (Kč)
ingoty	435	22,398.150,-
tekutý hliník	55	2,805.000,-
vraty	410	neuvádí se, vratný materiál
odvozy špony, brikety	85,49	2,222.740,-
náklady na ingoty	85,49	4,401.880,-

Náklady:

- **Mzdové:** pro obsluhu pecí – obsluha pecí (plnění, vylévání roztaveného hliníku) by bylo potřeba 6 operátorů, průměrná jejich superhrubá mzda činí 37.300,-Kč [17]
- **Plyn:** spotřeba pecí je udávána v „m³“ a je uváděna průměrně za 1 měsíc na 18.700m³, cena je za 1kWh, převod 1m³ = 10,55kWh, cena stanovená v současné době pro naši společnost je za 1kWh = 0,57haléřů [16]

- **Elektrická energie:** udávaná spotřeba pecí (4 pecí potřebných pro tavení) 75.000kWh/měsíc, cena za 1kWk = 1,5 Kč, výdaje za osvětlení 87.000kwh/měsíc
- **Spotřeba nafty:** odhadovaná spotřeba VZV je 170l/měsíc, cena za 1l = 23Kč

Při zpracování briket v naší společnosti tavením, by ušetřená měsíční částka činila rozdíl mezi nákupní cenou ingotů, cenou za odvoz briket a nákladů uvedených v tabulce č. 16.

Tabulka č. 16: Přehled nákladů

Náklady	výdaje (Kč)
mzdové	223.800,-
za plyn	112.453,-
za elektrickou energii - pece	112.500,-
za elektrickou energii- osvětlení	130.500,-
za VZV	3.910,-
součet	583.163,-

Výpočet: 4,401.880,- Kč – 2,222.740,- Kč – 583.163,-Kč = 1,595.977,- Kč

Výpočtem jsem zjistil, že celková ušetřená částka by byla 1,595.977,-Kč měsíčně. Tato částka je závislá na počtu odpracovaných dní za měsíc, možnosti nařízených přesčasů, počtu odlitých hlav a jejich zpracování v následných operacích - obrábění. Pro stanovení výpočtu jsem počítal náklady za měsíc duben.

7. Závěr

Má diplomová práce je zaměřena na využití hliníkových špon z obrábění. V úvodu je popsáno, jak byl tento odpad využit, kdy byly špony odváženy k následujícímu zpracování v externí společnosti.

V charakteristice materiálu je popsáno, v jakém stavu se nachází v přírodě a jaké jsou vlastnosti tohoto materiálu. Využití hliníku je skoro ve všech oblastech lidské činnosti. Popisují zde konkrétní složení hliníku, který je používán v naší společnosti. Jde zejména o jeho mechanické a chemické vlastnosti, které ovlivňují vlastnosti odlitku.

Existují dva způsoby zpracování hliníkových třísek. A to briketováním nebo metodou submerged melting. Z ekonomických hledisek je metoda briketování výhodnější, než druhá uvedená metoda.

V experimentální části jsem použil metodu briketování. Výpočtem z rozměrů a váhy 10 ks briket bylo zjištěno, že při tlaku 270 bar je dosaženo průměrné hustoty brikety $2,552 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$. Tato hodnota je ideální pro tavení. Odmaštění a sušení hliníkových špon bylo prováděno externí společností Dürer Systems Czech Republic a.s. Výsledky těchto testů prokázaly, že test č. 2 byl nejúčinnější. Test tavení byl zaměřen na vizuální kontrolu kouřivosti a po odlití kontrolního vzorku byly zjištěny chemické vlastnosti taveniny. Ve všech třech testech byly chemické vlastnosti v toleranci dané naším zákazníkem.

V ekonomické části byly spočítány úspory v dopravě, úspory za nákup nového hliníku a také za nákup řezné emulze. Úspory za nákup nového hliníku, i zpracování hliníkových špon a použitelného odpadu jsou vypočítány za jeden měsíc lití, a to za měsíc duben. Měsíční úspory budou rozdílné, a to z důvodů počtu pracovních dní, možnosti nařízených přesčasů, počtu odlitých hlav a jejich zpracování v následných operacích - obrábění.

V naší společnosti je již uvedený briketovací stroj firmy RUF. V současnosti se brikety odvážejí do externí společnosti k následujícímu zpracování. Zpracováním hliníkových špon nebo briket v naší společnosti by došlo k eliminaci vlivu na životní prostředí z důvodu zrušení odvozu kontejnerů nákladními automobily.

Při tom se běžně vyprodukuje jedna tuna škodlivých látek na jedno nákladní vozidlo ročně. Z toho je asi 70 kg oxidu uhelnatého, 100 kg uhlovodíků, 35 kg oxidů dusí-

ku a zbytek tvoří oxid uhličitý a další škodlivé látky (olovo, polyaromáty, aldehydy aj.). Pro zpracování briket tavením v naší společnosti by bylo nutné instalovat odmašťovací zařízení (pračku a sušičku špon) a také instalaci filtračních zařízení na pecích z důvodu vytváření nebezpečných zplodin (vznik TZL, CO a NO₂) při tavení.

Domnívám se, že důkazem jsou již uvedené ekonomické propočty finančních úspor a zejména ekologické, při šetření životního prostředí a dopadu na lidský organismus.

Mohu tedy říci, že briketování a následné tavení je ekonomicky výhodné a velice přínosné.

Seznam použitých zdrojů

- [1] [Http://empla.cz/](http://empla.cz/) [online]. [cit. 2016-03-21].
- [2] MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, Rudolf KOŘENÝ, Jaromír DRÁPALA, Heinz SCHNEIDER a Andrea MIŠKUFOVÁ A KOL. *Drápala*. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-890-4188-4.
- [3] [Http://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-hlinikovych-trisek.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/recyklace-hlinikovych-trisek.html) [online]. [cit. 2016-02-08].
- [4] [Http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185](http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185) [online]. [cit. 2016-04-14].
- [5] [Http://www.ruf.cz/fileadmin/_migrated/content_uploads/Recyklace_hlinikovych_trisek.pdf](http://www.ruf.cz/fileadmin/_migrated/content_uploads/Recyklace_hlinikovych_trisek.pdf) [online]. [cit. 2016-03-29].
- [6] [Http://http://www.noktamedal.com/rtf-nm-en.htm](http://http://www.noktamedal.com/rtf-nm-en.htm) [online]. [cit. 2016-01-15].
- [7] [Http://www.google.com/patents/US4850577](http://www.google.com/patents/US4850577) [online]. [cit. 2016-01-22].
- [8] [Http://www.ars-inc.com/briquetter.aspx](http://www.ars-inc.com/briquetter.aspx) [online]. [cit. 2016-01-22].
- [9] [Http://www.durr-cz.cz/](http://www.durr-cz.cz/) [online]. [cit. 2016-04-14].
- [10] [Http://www.hertwich.com/fileadmin/user_upload/Documents/Brochures/HE_Meltin g.pdf](http://www.hertwich.com/fileadmin/user_upload/Documents/Brochures/HE_Meltin g.pdf) [online]. [cit. 2016-03-11].
- [11] [Http://www.stinchcombe.eu/](http://www.stinchcombe.eu/) [online]. [cit. 2016-03-12].
- [12] [Http://www.altek-al.com/pdfs/tilting-rotary-furnaces-fact-sheet.pdf](http://www.altek-al.com/pdfs/tilting-rotary-furnaces-fact-sheet.pdf) [online]. [cit. 2016-04-11].
- [13] [Http://www.kmf.at/wp-content/uploads/Tilting-Rotary-Furnace-MASTERmax.pdf](http://www.kmf.at/wp-content/uploads/Tilting-Rotary-Furnace-MASTERmax.pdf) [online]. [cit. 2016-05-14].
- [14] [Http://www.aluplanet.com/documenti/InfoAlluminio/InfoInsertecENG.pdf](http://www.aluplanet.com/documenti/InfoAlluminio/InfoInsertecENG.pdf) [online]. [cit. 2016-04-17].
- [15] [online]. [cit. 2016-02-10]. DOI: DBL daimler specifikace ENG.
- [16] [Http://www.kogenerace-kotel.cz/index.php/prevody-jednotek](http://www.kogenerace-kotel.cz/index.php/prevody-jednotek) [online]. [cit. 2016-05-10].
- [17] [Http://www.kogenerace-kotel.cz/index.php/prevody-jednotek](http://www.kogenerace-kotel.cz/index.php/prevody-jednotek) [online]. [cit. 2016-08-05]. [online]. [cit. 2016-08-05].

[18]*[Http://www.novelisrecycling.co.uk/novelis-recycling/why-recycle-aluminium/](http://www.novelisrecycling.co.uk/novelis-recycling/why-recycle-aluminium/)* [online]. [cit. 2016-08-12].

Seznam obrázků

Obrázek 1: Odvoz kontejneru s Al odpadem	3
Obrázek 2: Bauxit [2].....	13
Obrázek 3: Schéma elektrické odporové kelímkové pece s kovovým kelímkem [2]	22
Obrázek 4: Schéma elektrické indukční středofrekvenční pece [2].....	24
Obrázek 5: Řez nístějovou pecí - elektrickou odporovou [2]	24
Obrázek 6: Kelímková pec - tuhá paliva [2]	25
Obrázek 7: Kelímková pec - plynná paliva [2]	25
Obrázek 8: Pec bubnová [12].....	26
Obrázek 9: Nístějová pec palivová [2].....	27
Obrázek 10: Dvoukomorová nístějová pec [12]	28
Obrázek 11: Hliníkové třísky a briketa	30
Obrázek 12: Briketovací lis firmy RUF s kontejnerem na brikety	30
Obrázek 13: Pece využívající systém SUBMERGED MELTING [11]	32
Obrázek 14: Obráběcí centrum společnosti GROB	33
Obrázek 15: Popis částí briketovacího lisu	34
Obrázek 16: Hliníkové špony v převozním vozíku.....	35
Obrázek 17: Testované brikety	36
Obrázek 18: Posuvné měřidlo digitální zn.ORION	36
Obrázek 19: Digitální váha	37
Obrázek 20: Tavicí a udržovací pec PCD 1200	42

Seznam tabulek

Tabulka 1: Ekotoxicita dle vyhlášky č.294/2005 Sb. [1]	10
Tabulka 2: Vyhodnocení nebezpečných vlastností uvedeného materiálu [1]	11
Tabulka 3: Přehled produktů	18
Tabulka 4: Specifikace chemického složení jednotlivých produktů [15]	20
Tabulka 5: Mechanické a fyzikální vlastnosti hlav válců [15]	21
Tabulka 6: Rozměry a hustota briket	37
Tabulka 7: Test č. 1.1	38
Tabulka 8: Test č. 1.2	39
Tabulka 9: Test č. 2	40
Tabulka 10: Chemické složení testu č. 1 [9]	44
Tabulka 11: Chemické složení testu č. 2 [9]	45
Tabulka 12: Chemické složení testu č. 3 [9]	45
Tabulka 13: Přehledová tabulka 1	46
Tabulka 14: Přehledová tabulka 2	47
Tabulka 15: Přehledová tabulka 3	49

Přílohy

Příloha č. 1: Protokol chemického složení vzorku test č. 1

Příloha č. 2: Protokol chemického složení vzorku test č. 2

Příloha č. 3: Protokol chemického složení vzorku test č. 3